



**GÜÇ SİSTEMLERİNDE EKONOMİK YÜK VE EMİSYON DAĞITIMI  
ANALİZİ**

**Mustafa SAKA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2017**

Mustafa SAKA tarafından hazırlanan “GÜÇ SİSTEMLERİNDE EKONOMİK YÜK VE EMİSYON DAĞITIMI ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Başkan:** Doç. Dr. Murat Hüsnu SAZLI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Doç. Dr. Nursel AKÇAM

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

Tez Savunma Tarihi: 02/06/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa SAKA

02/06/2017

GÜÇ SİSTEMLERİNDE EKONOMİK YÜK VE EMİSYON DAĞITIMI ANALİZİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa SAKA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2017

ÖZET

Bu tez çalışmasında, modern güç sistemleri için oldukça önemli olan ekonomik yük ve ekonomik emisyon dağıtımı gerçekleştirilmiştir. Ekonomik yük dağıtımının temel hedefi, sistemden talep edilen toplam gücü, toplam maliyet minimum olacak şekilde termal güç santrallerine dağıtmaktır. Termal güç sistemlerinden enerji üretilirken, doğaya nitrojen oksit, sülfür dioksit ve karbon dioksit gibi emisyon gazları salınır. Bu gazların atmosferde birikmesiyle birlikte sera etkisi artmakta, bunun sonucunda da küresel ısınma, ekolojik ve biyolojik sistemlerde bozulma gibi çeşitli olaylar meydana gelmektedir. Ekonomik emisyon dağıtımının temel hedefi, talep edilen toplam gücü, emisyon değeri minimum olacak şekilde üretmektir. Bu çalışmada, ekonomik yük dağıtımı ve ekonomik emisyon dağıtımının yanı sıra birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı yapılmış ve farklı güç sistemlerine uygulanmıştır. Bu güç sistemlerinden elde edilecek sonuçları gerçeğe en yakın hale getirmek için vana noktası etkisi, rampa oranı limitleri, iletim hattı kayıpları, yasaklı bölge gibi kısıtlar dikkate alınmıştır. Ekonomik yük dağıtımı, ekonomik emisyon dağıtımı ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı için, girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılmış ve bulunan sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde; ekonomik yük dağıtımı problemlerinin çözümünde daha düşük maliyetli sonuçlar hesaplanmış, ekonomik emisyon dağıtımı problemlerinin çözümünde daha düşük emisyon değerleri hesaplanmış ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı problemlerinin çözümünde ise daha düşük toplam maliyet sonuçları hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 90515

Anahtar Kelimeler : Ekonomik yük dağıtımı, Ekonomik emisyon dağıtımı, Birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı, Girdap arama algoritmaları

Sayfa Adedi : 62

Danışman : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

# ECONOMIC LOAD AND EMISSION DISPATCH ANALYSIS AT POWER SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Mustafa SAKA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2017

## ABSTRACT

Economic load dispatch and economic emission dispatch, which are very important for modern power systems, were performed in this thesis study. Main objective of economic load dispatch is distributing total demand power among thermal power generation units with minimum production cost. While generating power from thermal power systems, emission gases, such as nitrogen oxide, sulfur dioxide and carbon dioxide are released into the nature. The greenhouse effect increases with the accumulation of these gases in the atmosphere. For this reason, various events occur like global warming, corruption in ecological and biological systems. Main objective of economic emission dispatch is to produce the total demand power with the minimum amount of emissions. In this study, economic load dispatch and economic emission dispatch as well as combined economic load-emission dispatch is made and applied to different power systems. In order to bring the results of these power systems closer to reality, constraints such as valve point effect, ramp rate limits, transmission line losses and prohibited zones are considered. Vortex search algorithm and modified vortex search algorithm were used for economic load dispatch, economic emission dispatch and combined economic load-emission dispatch and obtained results were compared with the literature. When these results are examined; lower cost results were calculated in solving economic load dispatch problems, lower emission values were calculated in solving economic emission dispatch problems and lower total cost results were calculated in solving combined economic load-emission dispatch problems.

Science Code : 90515

Key Words : Economic load dispatch, Economic emission dispatch, Combined economic load-emission dispatch, Vortex search algorithms

Page Number : 62

Supervisor : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince yakın ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrűbelerini benimle paylaőan danıőman hocam Sayın Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĐLU'na gűnűlden teőekkűr ederim.

Yardımları ve yűnlendirmeleri ile bana katkıda bulunan ve çalıőmalarımnda yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Őđr. Gűr. Dr. Sűleyman Sungur TEZCAN'a ve Kırıkkale Őniversitesi űđretim űyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim EKE'ye sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Son olarak, her zaman yanımda olan, beni sűrekli teővik eden ve her konuda desteklerini benden esirgemeyen aileme çok teőekkűr ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	3
3. EKONOMİK YÜK, EKONOMİK EMİSYON VE BİRLEŞİK EKONOMİK YÜK-EMİSYON DAĞITIMI .....	9
3.1. Ekonomik Yük Dağıtımı.....	9
3.1.1. İletim hattı kayıplarının ihmal edildiği EYD .....	11
3.1.2. İletim hattı kayıplarının dahil edildiği EYD .....	14
3.1.3. EYD probleminde vana noktası etkisi .....	18
3.1.4. EYD probleminde yasaklı bölgelerin gösterimi .....	19
3.1.5. EYD probleminde rampa oranı limitlerinin gösterimi.....	20
3.2. Ekonomik Emisyon Dağıtımı .....	20
3.3. Birleşik Ekonomik Yük-Emisyon Dağıtımı .....	21
4.GİRDAP ARAMA ALGORİTMALARI .....	25
4.1. Girdap Arama Algoritması .....	25
4.2. Değiştirilmiş Girdap Arama Algoritması.....	31
5. KULLANILAN GÜÇ SİSTEMLERİ VE ANALİZLERİ.....	35



**Sayfa**

5.1. EYD İçin Kullanılan Güç Sistemleri.....	35
5.1.1. Rampa oranı limitlerinin dahil edildiği 3 üniteli güç sistemi için EYD.....	35
5.1.2. Rampa oranı limitlerinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD.....	36
5.1.3. İletim hattı kayıplarının dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD.....	37
5.1.4. İletim hattı kayıpları ve vana noktası etkisinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD .....	39
5.1.5. İletim hattı kayıpları, rampa oranı limitleri ve yasaklı bölgelerin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD.....	41
5.1.6. İletim hattı kayıpları, rampa oranı limitleri ve vana noktası etkisinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD.....	44
5.2. EED İçin Kullanılan Güç Sistemleri .....	47
5.2.1. 3 üniteli güç sistemi için EED .....	47
5.2.2. 6 üniteli güç sistemi için EED .....	48
5.3. BEED İçin Kullanılan Güç Sistemleri .....	50
5.3.1. 3 üniteli güç sistemi için BEED.....	50
5.3.2. 6 üniteli güç sistemi için BEED.....	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	61

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1. EYD için ROL'ün dahil edildiği üç üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları, maksimum-minimum limitleri ve rampa oranı limitleri .....	35
Çizelge 5.2. EYD için ROL'ün dahil edildiği üç üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	36
Çizelge 5.3. EYD için ROL'ün dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları, maksimum-minimum limitleri ve rampa oranı limitleri.....	36
Çizelge 5.4. EYD için ROL'ün dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar....	37
Çizelge 5.5. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri.....	37
Çizelge 5.6. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları .....	38
Çizelge 5.7. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum ve minimum limitler .....	38
Çizelge 5.8. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar ...	39
Çizelge 5.9. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri.....	40
Çizelge 5.10. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum-minimum limitler ile yakıt maliyet ve vana noktası etkisi katsayıları.....	40
Çizelge 5.11. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	41
Çizelge 5.12. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri.....	42
Çizelge 5.13. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları .....	42
Çizelge 5.14. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum minimum limitler ve yasaklı bölgeler .....	43
Çizelge 5.15. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait rampa oranı limitleri .....	43

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.16. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	44
Çizelge 5.17. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri.....	45
Çizelge 5.18. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet ve vana noktası etkisi katsayıları .....	45
Çizelge 5.19. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait rampa oranı ve maksimum minimum limitler .....	46
Çizelge 5.20. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	46
Çizelge 5.21. EED için üç üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları ve maksimum - minimum limitler .....	47
Çizelge 5.22. EED için üç üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi.....	47
Çizelge 5.23. EED için üç üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	48
Çizelge 5.24. EED için altı üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları .....	48
Çizelge 5.25. EED için altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisi.....	49
Çizelge 5.26. EED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	49
Çizelge 5.27. EED için altı üniteli güç sistemine ait DGAA ve HGA emisyon karşılaştırması .....	50
Çizelge 5.28. BEED için üç üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları ve maksimum-minimum limitler .....	50
Çizelge 5.29. BEED için üç üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları .....	51
Çizelge 5.30. BEED için üç üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi .....	51
Çizelge 5.31. BEED için üç üniteli güç sistemine ait, farklı güç değerleri için elde edilen sonuçlar .....	51
Çizelge 5.32. BEED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçların karşılaştırması.....	52
Çizelge 5.33. BEED için altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları ve maksimum minimum limitler .....	53
Çizelge 5.34. BEED için altı üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları.....	53

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.35. BEED için altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi.....	53
Çizelge 5.36. BEED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar .....	54



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ortak baraya bağlı güç üniteleri .....	9
Şekil 3.2. Yakıt maliyeti ile üretilen güç arasındaki ilişki .....	10
Şekil 3.3. Vana noktası etkisinin yakıt maliyeti – güç eğrisi üzerindeki etkisi .....	19
Şekil 3.4. Güç ünitesi için yasaklı bölgelerin gösterimi .....	20
Şekil 4.1. Arama işleminin şematik gösterimi .....	27
Şekil 4.2. GAA'nın arama süreci sonrası oluşan gösterimi .....	27
Şekil 4.3. $(1/x) \cdot \text{gamma}(\text{incinv}(x, a))$ ; $x=0.1$ ve $a \in [0,1]$ için gösterimi .....	28
Şekil 4.4. GAA akış şeması .....	30
Şekil 4.5. DGAA için merkez güncellemesinin gösterimi (Bir merkez için gösterim) ..	33
Şekil 4.6. DGAA akış şeması .....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

<b>kg</b>	Kilogram
<b>MW</b>	Megawatt
<b>sa</b>	Saat
<b>\$</b>	Dolar

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>ABC</b>	Artificial bee colony
<b>ACO</b>	Ant colony optimization
<b>BA</b>	Bee algorithm
<b>BBO</b>	Biogeography based optimization
<b>B-BBO</b>	Blended biogeography based optimization
<b>BEED</b>	Birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı
<b>BFOA</b>	Bacterial foraging optimization algorithm
<b>CFA</b>	Chaotic firefly algorithm
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbon dioksit
<b>CPSO</b>	Particle swarm optimization with constriction factor
<b>CSA</b>	Cuckoo search algorithm
<b>CSAPSO</b>	Chaotic self adaptive particle swarm optimization
<b>DA</b>	Dragonfly algorithm
<b>DEACO</b>	Differential evolution ant colony optimization
<b>DGAA</b>	Değiştirilmiş girdap arama algoritması
<b>DHS</b>	Differential harmony search
<b>DPSO</b>	Differential particle swarm optimization
<b>DR</b>	Alt rampa oranı limiti
<b>EBBO</b>	Efficient biogeography based optimization

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>EED</b>	Ekonomik emisyon dağıtımı
<b>EHSa</b>	Efficient hybrid simulated annealing
<b>EYD</b>	Ekonomik yük dağıtımı
<b>FA</b>	Firefly algorithm
<b>FCGA</b>	Fuzzy controlled genetic algorithm
<b>GA</b>	Genetik algoritma
<b>GAA</b>	Girdap arama algoritması
<b>HGA</b>	Hibrid genetik algoritma
<b>HKHA</b>	Hybrid krill herd algorithm
<b>IPSO</b>	Improved particle swarm optimization
<b>İHK</b>	İletim hattı kayıpları
<b>MABC</b>	Modified artificial bee colony
<b>MBFA</b>	Modified bacterial foraging algorithm
<b>MFO</b>	Moth-Flame optimization
<b>MGSO</b>	Modified glowworm swarm based optimization
<b>MRPSO</b>	Moderate random search particle swarm optimization
<b>NIPSO</b>	Newly improved particle swarm optimization
<b>NO<sub>x</sub></b>	Nitrojen oksit
<b>NR</b>	Newton-Raphson yöntemi
<b>NSGA-II</b>	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
<b>NTA</b>	Novel TANAN's algorithm
<b>OBBO</b>	Oppositional biogeography based optimization
<b>PS</b>	Pattern search
<b>PSO</b>	Particle swarm optimization
<b>PSOCFA</b>	Particle swarm optimization with constriction factor approach
<b>PSOCFIWA</b>	Particle swarm optimization with constriction factor and inertia weight factor approach
<b>PSOIWA</b>	Particle swarm optimization with inertia weight factor approach
<b>PSO-TVAC</b>	Time varying acceleration based particle swarm optimization

**Kısaltmalar****Açıklamalar****ROL**

Rampa oranı limitleri

**SADHS**

Self-adaptive differential harmony search

**SO<sub>2</sub>**

Sülfür dioksit

**TS**

Tabu search

**UR**

Üst rampa oranı limiti

**VNE**

Vana noktası etkisi

**WIPSO**

Weight improved particle swarm optimization

**YB**

Yasaklı bölgeler





## 1. GİRİŞ

Ekonomik yük dağıtımı, günümüzde yer alan güç sistemleri konuları arasında oldukça önemli bir konudur. Dünyada enerjiye olan talep, kentleşme, sanayileşme gibi faktörlere bağlı olarak sürekli olarak artmakta ve bu talebin oldukça büyük bir bölümü termik güç üniteleri aracılığıyla karşılanmaktadır. Bu enerjiden etkin bir şekilde yararlanabilmek için termik güç ünitelerinin en ekonomik şekilde yüklenmesi ve bunun için de gerekli planlamanın yapılması önemlidir. Bundan dolayı, termik güç ünitelerinden talep edilen enerji karşılanırken, oluşan maliyetin minimize edilmesi çok büyük öneme sahiptir. Ekonomik yük dağıtımı probleminin temel amacı, sistem tarafından talep edilen enerjiyi, sisteme ait bir takım kısıtları da göz önünde bulundurarak minimum maliyetle üretmektir.

Termik güç ünitelerinden enerji elde edilirken, kullanılan yakıtın yanması sonucu çevreye emisyon gazları ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{CO}_2$  gibi) salınır. Bu emisyon gazları, hava kirliliği, asit yağmurları oluşumu, insan sağlığında bozulma, küresel ısınma gibi birtakım olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bundan dolayı, termik güç ünitelerine ait emisyon dağıtımının yapılması, çevreye salınan bu gazların miktarının azaltılması ve çevreye verilen zararın en aza indirilmesi açısından çok büyük öneme sahiptir. Emisyon dağıtımı yapılırken, sistemden talep edilen güçte bir değişiklik olmaması gerekmektedir. Ekonomik emisyon dağıtımının temel hedefi, sistem tarafından talep edilen enerjiyi karşılarken, oluşacak emisyon miktarını minimum yapmaktır.

Ekonomik yük dağıtım problemlerinde, maliyetin minimize edilmesi ön plandadır ve oluşacak emisyon miktarı önemsenmez. Ekonomik emisyon dağıtım problemlerinde ise oluşacak emisyon miktarının minimize edilmesi ön plandadır ve maliyet hesabı önemsenmez. Hem ekonomik yük dağıtımını hem de ekonomik yük dağıtımını birlikte gerçekleştirmek amacıyla birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı yapılmaktadır. Birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımında ekonomik yük dağıtımının ve ekonomik emisyon dağıtımının sonuçları birbirine bağımlı olarak hesaplanır. Bu sayede, hem daha az emisyon salınımı yapılmakta hem de daha ekonomik üretim yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ekonomik yük dağıtım, ekonomik emisyon dağıtım ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım problemlerinin çözümünde girdap arama ve değiştirilmiş girdap arama algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmalar üç üniteli, altı üniteli ve

on beş üniteli sistemlere uygulanmıştır. Ayrıca bu sistemlere vana noktası etkisi, rampa oranı limitleri, iletim hattı kayıpları ve yasaklı bölge gibi kısıtlar da dahil edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde ekonomik yük dağıtımı, ekonomik emisyon dağıtımı ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımına ait literatür taraması yer almaktadır.

Tezin üçüncü bölümünde ekonomik yük dağıtımı, ekonomik emisyon dağıtımı ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımına ait bilgiler anlatılmakta ve matematiksel modellemeleri gösterilmektedir.

Tezin dördüncü bölümünde girdap arama ve değiştirilmiş girdap arama algoritmaları açıklanmakta ve matematiksel olarak gösterimleri yer almaktadır.

Tezin beşinci bölümünde kullanılan test sistemlerine ait parametreler verilmekte ve elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Bulunan sonuçların etkinliğini göstermek amacıyla, literatürde yer alan bazı sonuçlar da verilmektedir.

Tezin altıncı bölümünde elde edilen sonuçların önemi, değerlendirmesi ve elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Ekonomik yük dağıtımı, ekonomik emisyon dağıtımı ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı ile ilgili literatür araştırması yapıldığında, bu konularla ilgili olarak, farklı güç sistemlerinin kullanıldığı, bu güç sistemleri için bazı kısıtların dahil edildiği ve bazı kısıtların dahil edilmediği çalışmaların olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

2011 yılında Dieu, Schegner ve Ongsakul; vana noktalı etkili ekonomik yük dağıtımı problemini çözmek için Yeni Geliştirilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemini (NIPSO) kullanmışlardır. Bu yöntemi, on üç üniteli ve kırk üniteli iki adet güç sistemine uygulamışlardır. Kullandıkları bu yöntemle ekonomik yük dağıtımı için yakıt maliyet değerlerini düşürmüşlerdir [1].

2011 yılında Bhattacharya, Mandal ve Chakraborty; Hibrid Kültürel Algoritma metodunu kullanarak, üç üniteli bir güç sisteminin ekonomik yük dağıtımını, ekonomik emisyon dağıtımını ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımını hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçları GA ve PSO metotları ile karşılaştırmışlar ve daha düşük yakıt maliyet değeri bulmuşlardır [2].

2011 yılında Farhat ve El-Hawary; Değiştirilmiş Bakteri Yem Arama Algoritmasını (MBFA) kullanarak, altı üniteli bir güç sisteminin BEED problemini çözmüşlerdir. Bu sistemde iletim hattı kayıpları ihmal edilmemiştir ve farklı ağırlık katsayıları kullanılmıştır [3].

2012 yılında Kanoongo ve Jain; Karıştırılmış Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon yöntemini (B-BBO) otuz sekiz ve kırk üniteli iki adet güç sistemine uygulamışlardır. Kullandıkları yöntemle hesaplama süresini kısaltmalarına rağmen, elde ettikleri sonuç değerlerinin fazla olduğu görülmüştür [4].

2012 yılında Nagur, Raj ve Jadhav; vana noktası etkisi, rampa oranı limitleri ve yasaklı bölge kısıtlarının dahil edildiği EYD problemini çözmüşlerdir. Altı üniteli, on üç üniteli ve otuz sekiz üniteli güç sistemleri için Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasını (MABC) kullanarak, sonuçları GA, BBO, PSO gibi yöntemlerle kıyaslamışlar ve MABC

ile daha düşük yakıt maliyet değerleri bulmuşlardır [5].

2012 yılında Vanitha ve Thanushkodi; Etkili Hibrid Benzetimli Tavlama Algoritmasını (EHSA) kullanarak, iletim kayıplarını, yasaklı bölge sınırlarını ve rampa oranı limitlerini içeren üç üniteli bir güç sistemi için EYD problemini çözmüşlerdir. EHSA ile hem daha düşük yakıt maliyet sonuçları bulmuşlar hem de hesaplama süresini kısaltmışlardır [6].

2012 yılında Rahmat ve Musirin; Diferansiyel Evrim Karınca Kolonisi Optimizasyon tekniğini (DEACO) kullanarak, altı üniteli bir güç sisteminde EYD problemine uygulamışlardır. Kullandıkları bu yöntemle, geleneksel ve ACO yöntemlerine göre daha düşük yakıt maliyet değeri hesaplamışlardır [7].

2012 yılında Hamed, Mahdad, Srairi ve Mancer; Zamanla Değişen Hızlanma Tabanlı Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemini (PSO-TVAC) kullanarak, EYD, EED ve BEED problemlerini çözmüşlerdir. İki farklı güç sistemine bu yöntemi uygulayıp, elde ettikleri sonuçları PSO ile karşılaştırmışlardır. PSO-TVAC ile işlem süresi uzamasına rağmen daha iyi sonuçlar bulmuşlardır [8].

2012 yılında Krishnamurthy ve Tzoneva; BEED problemlerinin çözümünü, yeni bir ceza faktörü kullanarak, PSO algoritması ile çözmüşlerdir. Altı üniteli bir güç sistemi için elde ettikleri sonuçları, farklı bir ceza faktörü kullanarak elde ettikleri sonuçlar ile kıyaslamışlardır [9].

2013 yılında Subramanian, Thanushkodi ve Prakash; farklı güç sistemlerini ele alarak, Yeni TATAN Algoritmasını (NTA), ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için kullanmışlardır ve daha düşük yakıt maliyet değeri elde etmişlerdir [10].

2013 yılında Prabha, Raju, Saikumar, Mageshvaran ve Babu; Bakteri Yem Arama (BFOA) ve Ateşböceği (FA) optimizasyon algoritmalarını, vana noktası etkisinin dahil edildiği ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü için kullanmışlardır. Üç üniteli ve on üç üniteli güç sistemine bu algoritmaları uygulayarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. BFOA ile FA'dan düşük yakıt maliyet değerleri hesaplamışlardır [11].

2013 yılında Arul, Velusami ve Ravi; EYD problemini çözmek için farklı güç

sistemlerinde Kaotik Ateşböceği Algoritmasını (CFA) kullanmışlardır. Bu güç sistemlerinde rampa oranı limitleri, yasaklı bölge, vana noktası etkisi gibi bazı kısıtları ihmal etmemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları FA ile karşılaştırmışlar ve CFA ile daha yakıt düşük maliyet değerleri bulmuşlardır [12].

2013 yılında Vanitha ve Thanushkodi; yakıt maliyetini azaltmak amacıyla Etkili Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon algoritmasını (EBBO) kullanmışlardır. Bu yöntemi vana noktası etkisinin de dahil edildiği kırk üniteli bir güç sistemine uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçları BBO ve PSO ile kıyaslamışlar ve EBBO ile daha düşük yakıt maliyet değeri bulmuşlardır [13].

2013 yılında Gargeya ve Pabba; Genetik Algoritma (GA) ve Patern Arama (PS) metodunu kullanarak beş üniteli, vana noktası etkili on üç üniteli ve kırk üniteli güç sistemlerinin minimum yakıt maliyetlerini hesaplamışlardır. Farklı güç değerleri için yaptıkları çalışmalarda, PS ile GA'dan daha iyi sonuçlar bulmuşlardır [14].

2013 yılında Rani, Kothari ve Busawon; Kaotik Özuyarlanan Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemini (CSAPSO) kullanarak altı üniteli bir güç sisteminin BEED'sini gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemin çözümünü farklı ağırlık katsayıları için yapmışlar ve vana noktası etkisi, yasaklı bölge ve rampa oranı limitleri kısıtlarını ihmal etmemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları farklı yöntemler ile karşılaştırmışlardır. Bu yöntemle güç sistemlerinde ekonomik ve emisyon amaç fonksiyonlarını en iyi şekilde karşılamışlardır [15].

2014 yılında Kumar, Nangia ve Sahay; üç adet Geliştirilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyon algoritmasını (IPSO), üç farklı güç sistemine uygulamışlardır. EYD problemini çözmek için kullandıkları bu yöntemlerden elde ettikleri sonuçları, birbirleri ile ve farklı yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Bu yöntemlerle geleneksel PSO ve türevlerinden daha düşük yakıt maliyet değerleri elde etmişlerdir [16].

2014 yılında Meher, Swain ve Chanda; BEED probleminin çözümü için Değiştirilmiş Kandil Böceği Sürüsü Tabanlı Optimizasyon yöntemini (MGSO), on dört üniteli bir güç sistemi için kullanmışlardır. Bu sistemi, farklı güç değerleri için çözerek elde ettikleri sonuçları DE ve GSO ile karşılaştırmışlardır. BEED için MGSO ile daha düşük toplam

maliyet değeri hesaplamışlardır [17].

2014 yılında Arul, Velusami ve Ravi; altı üniteli ve kırk üniteli güç sistemlerinin EYD, EED ve BEED problemlerini çözmek için Özuyarlanan Diferansiyel Harmoni Arama Algoritmasını (SADHS) kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları Diferansiyel Harmoni Arama Algoritması (DHS) ile kıyaslamışlardır. SADHS ile DHS'den hem daha iyi yalıt maliyet değerleri hesaplamışlar hem de işlem süresini kısaltmışlardır [18].

2015 yılında Dasgupta, Banerjee ve Chanda; dört farklı Parçacık Sürüsü Optimizasyon tabanlı algoritmayı (PSO, PSOCFA, PSOCFIWA, PSOIWA), on beş üniteli bir güç sistemine uygulamışlardır. Bu güç sisteminin ekonomik yük dağıtımını problemi çözülrken, bazı ünitelere ait yasaklı bölgeler dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar bu dört algoritma için karşılaştırılmıştır. PSOCFA ile diğer yöntemlere göre ekonomik yük dağıtımını için minimum yakıt maliyet sonucunu hesaplamışlardır [19].

2015 yılında Ghosh, Dey ve Bhattacharya; iletim kayıplarını, vana noktası etkisini ve yasaklı bölge kısıtlarının dahil olduğu, altı üniteli ve kırk üniteli güç sistemlerinin minimum yakıt maliyetlerini Hibrid Kril Sürü Algoritmasını (HKHA) kullanarak hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçları, farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlar ve daha düşük yakıt maliyet değerleri hesaplamışlardır [20].

2015 yılında Sulaiman, Mustaffa, Mohamed ve Abdullah; birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımını problemini çözmek için, iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği altı üniteli bir güç sistemi ile vana noktası etkisinin dahil edildiği kırk üniteli bir güç sistemini ele almışlardır. Guguklu Arama Algoritmasını (CSA) kullanarak yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçları GSA ile karşılaştırmışlardır ve GSA'dan daha iyi sonuçlar bulmuşlardır [21].

2016 yılında Alam, Mathur ve Kumar; Diferansiyel Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemini (DPSO) on üniteli bir güç sistemi için kullanmışlardır. EYD problemini çözmek için kullandıkları bu yöntemi, dört farklı güç değeri için hesaplamışlar ve elde ettikleri sonuçları PSO yöntemi ile karşılaştırmışlardır [22].

2016 yılında Bhesdadiya, Jangir, Pandya, Jangir, Trivedi ve Kumar; Yusufçuk Algoritmasını (DA), altı üniteli bir güç sistemine uygulamışlardır. Altı farklı ceza faktörü

kullanarak, farklı güç değerleri için BEED problemini çözmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçların birbirleri arasında karşılaştırmasını yapmışlar ve ceza faktörlerinin BEED problemlerine etkisini göstermişlerdir [23].

2017 yılında Chansareewittaya; hibrid Arı Algoritması/Tabu Arama (BA/TS) algoritmasını, ekonomik yük dağıtımını problemini çözmek amacıyla altı üniteli güç sistemine ve vana noktası etkisinin dahil edildiği on üniteli güç sistemine uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçları BA yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Hibrid BA/TS algoritması ile BA algoritmasından daha düşük yakıt maliyet değeri hesaplamışlardır [24].

Bu literatür çalışmaları ışığında;

- Ekonomik yük dağıtımını problemleri için daha düşük yakıt maliyet değerlerini hesaplamak,
- Ekonomik emisyon dağıtımını problemleri için daha düşük emisyon değerlerini hesaplamak,
- Birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımını problemleri için daha düşük toplam maliyet değerlerini hesaplamak,

amacıyla girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir.





### 3. EKONOMİK YÜK, EKONOMİK EMİSYON VE BİRLEŞİK EKONOMİK YÜK-EMİSYON DAĞITIMI

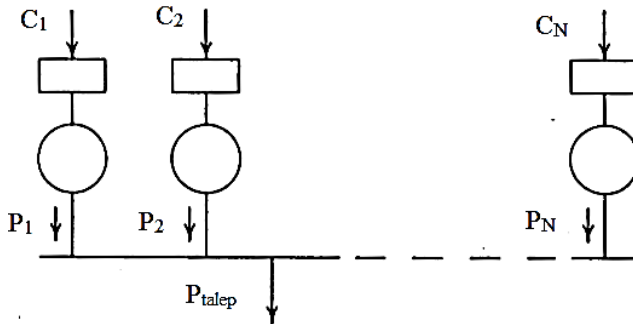
Bu bölümde ekonomik yük dağıtımını, ekonomik emisyon dağıtımını ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımını konularının önemi, temel prensipleri ve matematiksel olarak açıklamaları yer almaktadır.

#### 3.1. Ekonomik Yük Dağıtımı

Bir güç sisteminin ekonomik olarak işletilmesi, o güç sisteminin planlaması açısından oldukça önemlidir. Tüketici tarafından talep edilen güç karşılanırken, artan yakıt maliyetleri, personel ücretleri, bakım maliyetleri gibi birçok masrafla karşılaşılır. Bu masraflar dikkate alındığında, en büyük oran, enerji santrallerinde kullanılan güç ünitelerinin yakıt maliyetlerine aittir. Bundan dolayı, bir güç sisteminin ekonomik işletimi denilince ilk olarak akla gelen, güç ünitelerinde kullanılan yakıtın maliyetinin minimize edilmesidir.

Ekonomik yük dağıtımını, her bir santralin veya bir santraldeki her bir güç ünitesine ait çıkış gücünün, toplam yakıt maliyeti minimum olacak şekilde belirlenmesidir. Aynı zamanda ekonomik yük dağıtımını yapılırken, sisteme ait eşitlik ve eşitsizlik kısıtları da karşılanmalıdır.

Anlaşılabilir olması açısından ekonomik yük dağıtımını aşağıdaki gibi modellenabilir:

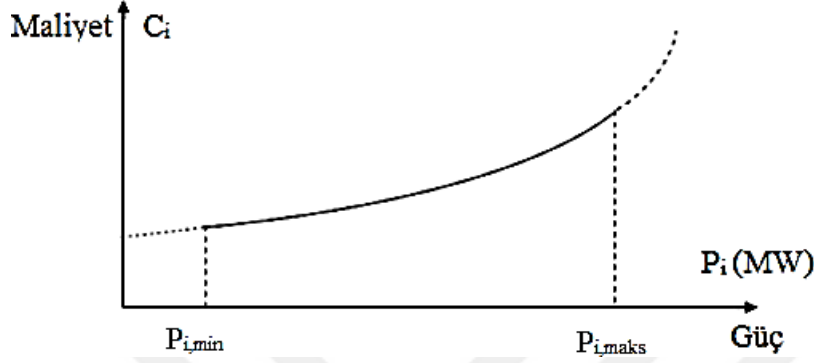


Şekil 3.1. Ortak baraya bağlı güç üniteleri [25]

Burada  $C_1, C_2 \dots C_N$  her bir güç ünitesine ait maliyet fonksiyonunu ifade ederken,  $P_1, P_2 \dots P_N$  bu ünitelere ait çıkış güçlerini ifade etmektedir.  $P_{\text{talep}}$  ise sistemden talep edilen

toplam gücü göstermektedir.

Bir güç ünitesine ait yakıt maliyet ve güç arasındaki ilişki, aşağıda verilen grafikteki gibidir:



Şekil 3.2. Yakıt maliyeti ile üretilen güç arasındaki ilişki

En temel haliyle ekonomik yük dağıtım problemi ikinci derecen bir denklem ile ifade edilir:

$$Cf_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (3.1)$$

Burada  $i=1, 2, 3, \dots, N$  olmak üzere;  $Cf_i$ ,  $i$ 'nci güç ünitesine ait yakıt maliyeti,  $a_i$ ,  $b_i$  ve  $c_i$  ise  $i$ 'nci güç ünitesine ait yakıt-maliyet katsayılarıdır.

Her bir güç ünitesine ait yakıt maliyetleri toplanarak sisteme ait toplam maliyet hesaplanır.

$$Cf_{toplam} = \sum_{i=1}^N Cf_i \quad (3.2)$$

Ekonomik yük dağıtım problemlerinde en önemli kısıt, sistemden talep edilen gücün üretilen güce eşit olmasıdır.

$$P_{talep} = \sum_{i=1}^N P_i \quad (3.3)$$

Burada,  $P_{talep}$ , sistemden talep edilen toplam güç ve  $P_i$ ,  $i$ 'nci güç ünitesinde üretilen güçtür.

### 3.1.1. İletim hattı kayıplarının ihmal edildiği EYD

İletim hatlarında meydana gelen kayıplar ihmal edildiğinde, dikkat edilmesi gereken kısıt sayısı azalacağından, EYD probleminin çözümü oldukça kolaydır.

EYD problemlerinde, minimum maliyetle güç üretirken Eş. 3.3'de gösterilen güç eşitliği şartını sağlamak için Lagrange çarpanı yöntemi kullanılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir [25]:

$$L = Cf_{toplam} + \lambda(P_{talep} - \sum_{i=1}^N P_i) \quad (3.4)$$

Bu amaç fonksiyonunun minimumu aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır [25]:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0 \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (3.6)$$

Eş. 3.5'teki denklem incelendiğinde:

$$\frac{\partial Cf_{toplam}}{\partial P_i} + \lambda(0 - 1) = 0 \quad (3.7)$$

$$Cf_{toplam} = Cf_1 + Cf_2 + \dots + Cf_N \quad (3.8)$$

olmaktadır [25]. Bu işlem açıldığında;

$$\frac{\partial Cf_{toplam}}{\partial P_i} = \frac{\partial Cf_i}{\partial P_i} = \lambda \quad (3.9)$$

elde edilir [25].

Buradan da aşağıdaki sonuçlar elde edilir [25]:

$$\frac{\partial C f_i}{\partial P_i} = \lambda \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.10)$$

$$2a_i P_i + b_i = \lambda \quad (3.11)$$

Eş. 3.6 incelendiğinde, Eş. 3.3'deki güç eşitliği koşulu elde edilir [25].

Her bir güç ünitesi için en iyi çözüm bulunmak istendiğinde Eş 3.11 çözümlenmelidir [25];

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2a_i} \quad (3.12)$$

Eş. 3.12, Eş. 3.3'de yerine yazılırsa;

$$P_{talep} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda - b_i}{2a_i} \quad (3.13)$$

$$\lambda = \frac{P_{talep} + \sum_{i=1}^N \frac{b_i}{2a_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{2a_i}} \quad (3.14)$$

sonuçları elde edilir. Buradan bulunan  $\lambda$  değeri Eş. 3.12'de yazılarak güç ünitelerinin değerleri bulunur. Bu işlemleri daha hızlı yapabilmek adına gradient metodu kullanılır ve aşağıdaki ifadelerle gösterilir [25]:

$$f(\lambda) = P_{talep} \quad (3.15)$$

Bu eşitliğin Taylor serileri açılıp, yüksek dereceli terimler ihmal edilirse;

$$f(\lambda) + \frac{df(\lambda)}{d\lambda} \Delta(\lambda)^{(k)} = P_{talep} \quad (3.16)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(k)}} \quad (3.17)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left(\frac{dP_i}{d\lambda}\right)^{(k)}} \quad (3.18)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left(\frac{1}{2a_i}\right)} \quad (3.19)$$

denklemleri elde edilir [25].

İteratif olarak çözüme gidildiğinden dolayı, bir sonraki iterasyon için kullanılacak  $\lambda$  değeri aşağıdaki şekilde bulunur [25]:

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (3.20)$$

Talep edilen güç ile üretilen güç arasındaki fark aşağıdaki şekilde hesaplanır [25]:

$$\Delta P^{(k)} = P_{talep} - \sum_{i=1}^N P_i^{(k)} \quad (3.21)$$

Bu işlemlere,  $\Delta P^{(k)}$  belirli bir doğruluk değerini sağlayıncaya kadar devam edilir [25].

Güç sistemlerinin belirli minimum ve maksimum sınırlar içerisinde çalıştırılması istenirse aşağıdaki denklemdeki koşul sağlanmalıdır [25].

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,maks} \quad (3.22)$$

Burada,  $P_{i,min}$  güç ünitesinin minimum çalışma sınırı,  $P_{i,maks}$  ise maksimum çalışma sınırıdır. Bu durumda  $\lambda$  değerleri aşağıdaki gibi seçilmelidir [25]:

$$\frac{dCf_i}{dP_i} = \lambda \quad , \quad P_{i,min} < P_i < P_{i,maks} \quad (3.23)$$

$$\frac{dCf_i}{dP_i} \leq \lambda \quad , \quad P_i = P_{i,maks} \quad (3.24)$$

$$\frac{dCf_i}{dP_i} \geq \lambda \quad , \quad P_i = P_{i,min} \quad (3.25)$$

Bu belirlemeden sonra Eş. 3.12'ye gidilerek  $\Delta P$  ' değeri belirlenen değere ulaşıncaya kadar iterasyon işlemine aynı şekilde devam edilir [25].

### 3.1.2. İletim hattı kayıplarının dahil edildiği EYD

Sistem tarafından üretilen gücü, kullanıcıya aktarırken iletim hatları kullanılır. İletim hatlarının sahip olduğu dirençten dolayı bir miktar güç bu hatlar üzerinde kaybolur. Kayıplı EYD problemlerinin çözümünde, iletim kayıpları eşitliği kullanılır.

#### İletim kayıpları eşitliği

İletim kayıpları EYD problemleri için oldukça önemlidir ve [26]'da gösterildiği üzere aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$P_{kayıp} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{i0} P_i + B_{00} \quad (3.26)$$

Burada,  $B_{ij}$  ile gösterilen  $N \times N$  boyutlu,  $B_{i0}$  ile gösterilen  $1 \times N$  boyutlu ve  $B_{00}$  ile gösterilen boyutsuz kayıp katsayıları matrisleridir.

EYD problemlerine bu ifadeyi de dahil ettiğimizde, üretilmesi gereken güç miktarı, sistemden talep edilen toplam güç ile iletim hattında meydana gelen toplam kayıp gücün toplamına eşit olmalıdır. Bu durum, aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{talep} + P_{kayıp} \quad (3.27)$$

Lagrange çarpanı yöntemine iletim hattı kayıpları eşitliğini dahil ettiğimizde aşağıdaki denklemi elde ederiz [25]:

$$L = C_{f_{toplam}} + \lambda (P_{talep} + P_{kayıp} - \sum_{i=1}^N P_i) + \sum_{i=1}^N \mu_{i,maks} (P_i - P_{i,maks}) + \sum_{i=1}^N \mu_{i,min} (P_i - P_{i,min}) \quad (3.28)$$

Bu denklemde,  $P_{i,maks} > P_i$  olduğunda  $\mu_{i,maks} = 0$ 'dır ve  $P_i > P_{i,min}$  olduğu durumda  $\mu_{i,min} = 0$ 'dır. Eş. 3.28'deki denklemin minimumunu bulmak için, aşağıdaki dört eşitlik dikkate alınır [25]:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0 \quad (3.29)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{i,maks}} = P_i - P_{i,maks} = 0 \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{i,min}} = P_i - P_{i,min} = 0 \quad (3.32)$$

Her bir güç ünitesi tarafından üretilen güç, maksimum ve minimum sınırlar içinde olduğunda  $\mu_{i,maks} = \mu_{i,min} = 0$  olur [25]. Bu durumda kayıplı ELD probleminin çözümünde Eş. 3.29 ve Eş. 3.30 kullanılır.

Eş. 3.29'da verilen eşitlik incelendiğinde;

$$\frac{\partial C_{f_{toplam}}}{\partial P_i} + \lambda \left( 0 + \frac{\partial P_{kayıp}}{\partial P_i} - 1 \right) = 0 \quad (3.33)$$

$$C_{f_{toplam}} = C_{f_1} + C_{f_2} + \dots + C_{f_N} \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial C_{f_{toplam}}}{\partial P_i} = \frac{dC_{f_i}}{dP_i} \quad (3.35)$$

$$\frac{dC_{f_i}}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_{kayıp}}{\partial P_i} = \lambda \quad (3.36)$$

sonucuna ulaşılır [25].

Eş. 3.30'de verilen eşitlik incelendiğinde;

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{talep} + P_{kayıp} \quad (3.37)$$

sonucu elde edilir [25].

Eş. 3.36'daki denklem yeniden düzenlenerek;

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{kayit}}{\partial P_i}} \right) \frac{dCf_i}{dP_i} = \lambda \quad (3.38)$$

$$L_i \frac{dCf_i}{dP_i} = \lambda \quad (3.39)$$

sonuçları elde edilir [25].

Burada,  $L_i$ ,  $i$ 'nci güç santraline ait ceza faktörüdür ve aşağıdaki şekilde gösterilir [25]:

$$L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{kayit}}{\partial P_i}} \quad (3.40)$$

Eş. 3.1 ve Eş. 3.26'da gösterilen denklemler, Eş. 3.36'daki denklemde yerlerine yazıldığında;

$$2a_i P_i + b_i + \lambda 2 \sum_{j=1}^N B_{ij} P_j + \lambda B_{i0} = \lambda \quad (3.41)$$

$$\left( \frac{a_i}{\lambda} + B_{ii} \right) P_i + \sum_{j=1, i \neq j}^N B_{ij} P_j = \frac{1}{2} (1 - B_{i0} - \frac{b_i}{\lambda}) \quad (3.42)$$

sonuçları elde edilir [25].

Eş. 3.42'de gösterilen denklem, sistemde yer alan bütün güç üniteleri için uygulandığında aşağıdaki matris denklemi elde edilir [25]:

$$\begin{bmatrix} \frac{a_1}{\lambda} + B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1N} \\ B_{21} & \frac{a_2}{\lambda} + B_{22} & \dots & B_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N1} & B_{N2} & \dots & \frac{a_N}{\lambda} + B_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_N \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - \frac{b_1}{\lambda} + B_{10} \\ 1 - \frac{b_2}{\lambda} + B_{20} \\ \vdots \\ 1 - \frac{b_N}{\lambda} + B_{N0} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

Bu matris ifadesi, kısa bir gösterim olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$EP = D \quad (3.44)$$



Belirlenmiş bir  $\lambda^{(1)}$  değerinde optimal dağıtım çözümünü gerçekleştirmek için Eş. 3.44'te gösterilen denklem eş zamanlı olarak çözümlenmelidir. Bu işlemleri daha hızlı yapabilmek için gradient metodu kullanılır. İteratif olarak çözüme gidildiğinden, k'ncü iterasyondaki  $P_i$  değeri aşağıdaki denklemle ifade edilir [25]:

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{i0})-b_i-\lambda 2^{(k)} \sum_{j \neq 1} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(a_i + \lambda^{(k)} B_{ii})} \quad (3.45)$$

Bu eşitlik Eş. 3.37'de yerine yazıldığında;

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{i0})-b_i-\lambda 2^{(k)} \sum_{j \neq 1} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(a_i + \lambda^{(k)} B_{ii})} = P_{talep} + P_{kayıp} \quad (3.46)$$

eşitliği elde edilir ve bunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz [25]:

$$f(\lambda)^{(k)} = P_{talep} + P_{kayıp} \quad (3.47)$$

Bu denklemin sol tarafının Taylor serileri açılıp, yüksek dereceli terimler ihmal edildiğinde;

$$f(\lambda)^{(k)} + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(k)} \Delta\lambda^{(k)} = P_{talep} + P_{kayıp} \quad (3.48)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(k)}} \quad (3.49)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left(\frac{\partial P_i}{\partial \lambda}\right)^{(k)}} \quad (3.50)$$

eşitlikleri elde edilir [25].

Buradan da aşağıdaki işlemler yapılırsa;

$$\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P_i}{\partial \lambda}\right)^{(k)} = \sum_{i=1}^N \frac{a_i(1-B_{i0})+B_{ii}b_i-2a_i \sum_{j \neq 1} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(a_i + \lambda^{(k)} B_{ii})^2} \quad (3.51)$$

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (3.52)$$

$$\Delta P^{(k)} = P_{talep} + P_{kayıp}^{(k)} - \sum_{i=1}^N P_i^{(k)} \quad (3.53)$$

sonuçları elde edilir. Bu işlemler, belirlenen  $\Delta P^{(k)}$  doğruluk değerine ulaşıncaya kadar devam eder [25].

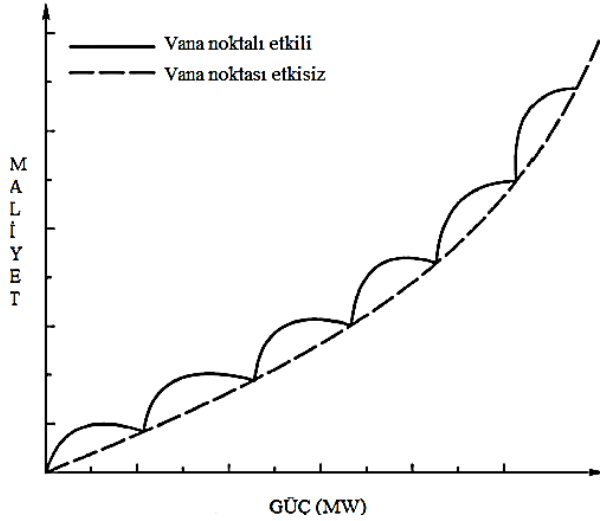
### 3.1.3. EYD probleminde vana noktası etkisi

Çoklu vanalı buhar türbinlerine sahip güç ünitelerinin giriş –çıkış karakteristik fonksiyonu, vana noktası etkisinin dahil edilmediği durumlara göre belirgin bir değişiklik göstermektedir. Büyük buhar türbinine sahip olan güç üniteleri, artan talebi karşılamak için sıralı bir şekilde açılan birden fazla buhar giriş vanasına sahiptir. Buhar giriş vanalarının açılması, kayıplarda ani bir artışa neden olmaktadır. Vanaların hareketinden doğan kayıpları da modelleyebilmek için Walters ve Sheblé tarafından [27] bir yaklaşım geliştirilmiştir. Vana noktası etkisinin dahil edildiği bu yaklaşımda [27], en temel haliyle ikinci dereceden bir denklemlerle ifade edilen EYD problemine, doğrultulmuş sinüzoidal bileşenin eklenmesiyle türetilmiştir ve aşağıda gösterilmiştir [28]:

$$Cf_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + |d_i \sin(e_i (P_i^{min} - P_i))| \quad (3.54)$$

Burada,  $d_i$  ve  $e_i$  vana noktası etkisi tarafından meydana gelen yakıt maliyet katsayılarıdır.

Vana noktası etkisinin dahil edildiği ve dahil edilmediği durumlar için yakıt maliyeti – güç arasındaki ilişki aşağıdaki verilmiştir:



Şekil 3.3. Vana noktası etkisinin yakıt maliyeti – güç eğrisi üzerindeki etkisi [29]

### 3.1.4. EYD probleminde yasaklı bölgelerin gösterimi

Vana noktası etkisinden dolayı, bir güç ünitesinin bazen tüm güç aralıkları için çalıştırılması olanaksızdır. Bazen de, güç ünitesinde mekanik arızaların meydana gelebilmesi nedeniyle bazı güç aralıklarında çalıştırılması istenmez. Bir güç ünitesi yasaklı bölge aralığında çalıştırıldığında, titremeler ve güç kalitesindeki dalgalanmalardan dolayı tehlikeli sonuçlar meydana gelebilir [29]. Bundan dolayı, güç ünitelerinin bazı güç aralıklarında çalıştırılması istenmez. Bu durumlar aşağıdaki denklemlerle gösterilmiştir [30]:

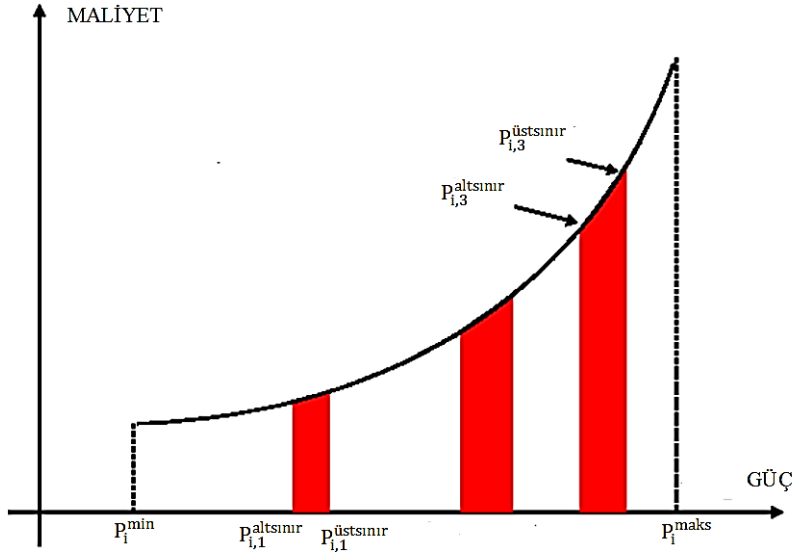
$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_{i,1}^{altsınır} \quad (3.55)$$

$$P_{i,j-1}^{üst sınır} \leq P_i \leq P_j^{altsınır} \quad (3.56)$$

$$P_{i,n_i}^{üst sınır} \leq P_i \leq P_i^{maks} \quad (3.57)$$

Burada,  $j=1, 2, 3, \dots, n_i$  olmak üzere yasaklı bölge sayısıdır.  $P_j^{altsınır}$  ve  $P_j^{üst sınır}$  sırasıyla  $j$ 'nci yasak bölgenin minimum ve maksimum limitleridir [30].

Aşağıdaki şekilde yasaklı bölgelerin yakıt maliyeti – güç eğrisi üzerindeki gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4. Güç ünitesi için yasaklı bölgelerin gösterimi [31]

### 3.1.5. EYD probleminde rampa oranı limitlerinin gösterimi

Yükteki herhangi ani bir değişiklik için, güç üniteleri güç uyumsuzluğunu sıfıra düşürmek için kaynaklarını artırır ya da azaltırlar. Ancak, güç üniteleri, güç kaynaklarını, üst rampa ve alt rampa oranları tarafından belirlenen limitler kadar değiştirebilirler. Eğer bir jeneratör belirli bir noktada çalışıyorsa, çalışma noktası yalnızca rampa hızı tarafından belirlenen belirli bir seviyeye kadar değiştirilebilir [32]. Bu durum, aşağıdaki denklemle gösterilir:

$$\max(P_i^{\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (3.58)$$

Burada,  $P_i^0$ , güç ünitesinin bir önceki çıkış gücü;  $UR$  o güç ünitesine ait üst rampa limiti ve  $DR$  o güç ünitesine ait alt rampa limitidir [33].

### 3.2. Ekonomik Emisyon Dağıtımı

Çeşitli yollarla çevreye salınan emisyon gazları ( $SO_2$  ve  $NO_x$  gibi), sera etkisi neden olmakta ve var olan sera gazlarının yoğunluğunu artırmaktadır. Emisyon gazları, küresel ısınma, iklim değişikliği, asit yağmurları gibi birtakım zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu tür etkiler, canlıları olumsuz yönde etkilemektedir ve bundan dolayı, kontrol edilmeleri oldukça önemlidir. Sera etkisine yol açan emisyon gazlarının büyük çoğunluğu, termik güç santrallerinde fosil yakıtların yakılması sonucu oluşmaktadır. Bu etkiyi minimum seviyeye

indirmek için, güç sistemlerinde ekonomik emisyon dağıtımı yapılmaktadır.

En temel haliyle ekonomik emisyon dağıtımı problemi, ekonomik yük dağıtımı problemine benzer şekilde, ikinci dereceden bir denklemlerle ifade edilir:

$$Ce_i = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \quad (3.59)$$

Burada,  $i=1, 2, 3, \dots, N$  olmak üzere;  $Ce_i$ ,  $i$ 'nci güç ünitesine ait yakıt maliyeti,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  ve  $\gamma_i$  ise  $i$ 'nci güç ünitesine ait emisyon katsayılarıdır.

Her bir güç ünitesine ait emisyon değerleri toplanarak, sisteme ait toplam emisyon değeri hesaplanır.

$$Ce_{toplam} = \sum_{i=1}^N Ce_i \quad (3.60)$$

Ekonomik emisyon dağıtım problemlerinde en önemli kısıt, ekonomik yük dağıtım problemlerinde olduğu gibi, sistemden talep edilen gücün üretilen güce eşit olmasıdır.

$$P_{talep} = \sum_{i=1}^N P_i \quad (3.61)$$

EED problemleri, Bölüm 3.1.1.'de anlatılan İletim Hattı Kayıplarının İhmal Edildiği EYD problemlerinin çözümüne benzer şekilde çözülür. Burada dikkate edilmesi gereken nokta, yakıt maliyet katsayılarının yerine emisyon katsayılarının kullanılacak olmasıdır.

### 3.3. Birleşik Ekonomik Yük-Emisyon Dağıtım

Güç sistemlerinin işletimi ve planlanması esnasında oluşacak maliyet miktarını azaltmak için ekonomik yük dağıtım yapılmaktadır. Aynı zamanda, güç sistemlerinin işletimi nedeniyle çevreye yayılan emisyon oranının da minimum seviyede olması istenir ve bu nedenle de ekonomik emisyon dağıtım yapılır. EYD işleminde çevreye yayılan emisyon değeri dikkate alınmazken, EED işleminde de benzer şekilde oluşacak maliyet değeri dikkate alınmaz. Güç sistemlerinde hem maliyet değerini azaltmak hem de emisyon değerini minimum seviyede tutmak için birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım

yapılmaktadır.

BEED işleminde, amaçları farklı olan iki problem, fiyat ceza faktörü kullanılarak birleştirilir ve tek bir problem haline getirilir. Bu durum aşağıdaki denklem ile gösterilmektedir [34]:

$$C_t = C_f(P) + h \times C_e(P) \quad (3.62)$$

Burada,  $C_t$ , toplam işletim maliyeti;  $C_f$ , yakıt maliyetini,  $C_e$  emisyon miktarını ve  $h$  fiyat ceza faktörünü belirtmektedir.

Bu denklem, ağırlık faktörlerinin kullanılmasıyla aşağıdaki şekilde güncellenir [34]:

$$C_t = w_1 \times C_f(P) + w_2 \times h \times C_e(P) \quad (3.63)$$

Burada,  $w_1$  ve  $w_2$ , probleme yönelik ağırlık faktörleridir. Bu ağırlık faktörlerinin yukarıda ki denklemle ilişkisi aşağıda verilmektedir [34]:

$w_1 = 1$  ve  $w_2 = 0$  için ; ekonomik yük dağıtımı

$w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  için ; ekonomik emisyon dağıtımı

$w_1 = 1$  ve  $w_2 = 1$  için ; ekonomik yük-emisyon dağıtımı

Birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımında kullanılan fiyat ceza faktörleri farklı şekilde belirlenebilir [35]:

#### Minimum-maksimum fiyat ceza faktörü

Her bir güç ünitesinin minimum güç değerindeki maliyetinin, maksimum güç değerindeki emisyon değerine oranı ile elde edilir. En temel haliyle aşağıdaki denklem ile hesaplanır [35]:

$$h_i = \frac{a_i P_{min}^2 + b_i P_{min} + c_i}{\alpha_i P_{maks}^2 + \beta_i P_{maks} + \gamma_i} \quad (3.64)$$

### Maksimum-maksimum fiyat ceza faktörü

Her bir güç ünitesinin maksimum güç değerindeki maliyetinin, maksimum güç değerindeki emisyon değerine oranı ile elde edilir. En temel haliyle aşağıdaki denklem ile hesaplanır [35]:

$$h_i = \frac{a_i P_{maks}^2 + b_i P_{maks} + c_i}{\alpha_i P_{maks}^2 + \beta_i P_{maks} + \gamma_i} \quad (3.65)$$

### Minimum-minimum fiyat ceza faktörü

Her bir güç ünitesinin minimum güç değerindeki maliyetinin, minimum güç değerindeki emisyon değerine oranı ile elde edilir. En temel haliyle aşağıdaki denklem ile hesaplanır [35]:

$$h_i = \frac{a_i P_{min}^2 + b_i P_{min} + c_i}{\alpha_i P_{min}^2 + \beta_i P_{min} + \gamma_i} \quad (3.66)$$

### Maksimum-minimum fiyat ceza faktörü

Her bir güç ünitesinin maksimum güç değerindeki maliyetinin, minimum güç değerindeki emisyon değerine oranı ile elde edilir. En temel haliyle aşağıdaki denklem ile hesaplanır [35]:

$$h_i = \frac{a_i P_{maks}^2 + b_i P_{maks} + c_i}{\alpha_i P_{min}^2 + \beta_i P_{min} + \gamma_i} \quad (3.67)$$





## 4. GİRDAP ARAMA ALGORİTMALARI

Bu bölümde, girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması hakkında bilgiler verilmekte ve matematiksel olarak ifadeleri gösterilmektedir.

### 4.1. Girdap Arama Algoritması

Girdap arama algoritması, tek çözüm tabanlı üst sezgisel bir yöntem olup, nümerik fonksiyon optimizasyonlarında oldukça etkilidir [36]. Girdap arama algoritması, karıştırılan sıvıların oluşturdukları girdap şekillerinden ilham alınarak geliştirilmiştir. Girdap şekillerinin adım aralığının ayarlanmasına imkan sağladığı için, arama karakteristiğinin eksploratif ve eksplotatif yaklaşımları arasında oldukça iyi bir ilişki sağlamaktadır [37].

Girdap şekilleri iki boyutlu bir uzayda iç içe geçmiş çemberler olarak modellenenbilir. Bu çemberler içerisinde dıştaki en büyük çember, arama uzayının başlangıç çemberidir. Bu çemberin yarıçapı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır [38]:

$$\mu_0 = \frac{\text{üstsınır} + \text{altsınır}}{2} \quad (4.1)$$

Burada, üstsınır ve altsınır, sırasıyla probleme ait maksimum sınır kısıtı ve minimum sınır kısıtıdır. d boyutlu bir uzayda üstsınır ve altsınır  $d \times 1$ 'lik birer matris ile ifade edilir [38].

Başlangıç çemberi oluşturulduktan sonra,  $\mu_0$  merkezli bu çember etrafında Gaussian dağılımı kullanılarak rastgele birçok  $C_t(s)$  (t iterasyon indeksini göstermektedir ve başlangıçta  $t=0$ 'dır) komşu çözümleri üretilir. Burada,  $C_0(s) = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_k\}$   $k=1, 2, \dots, n$  olmak üzere oluşturulan çözümleri, n ise oluşturulan toplam aday sayısını temsil eder [38].

Çok değişkenli Gaussian dağılımının genel ifadesi aşağıda verilmiştir [38]:

$$p(x|\mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma|}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu) \right\} \quad (4.2)$$

Burada, d boyutu; x, rastgele bir değişken olmak üzere  $d \times 1$  boyutlu vektörü;  $\mu$ , merkezi ve

$\Sigma$  kovaryans matrisini temsil etmektedir. Eğer,  $\Sigma$ 'nin köşegen elemanları eşitse ve köşegen dışı elemanları sıfırsa, dağılımın şekli küresel olur. Bu durum, iki boyutlu uzayda çember olarak kabul edilir. Bundan dolayı,  $\Sigma$  aşağıdaki denklemlerle ifade edilir [38]:

$$\Sigma = \sigma^2 \cdot [I]_{d \times d} \quad (4.3)$$

Burada,  $\sigma^2$  dağılımın varyansını,  $I$  ise  $d \times d$  boyutlu özdeşlik matrisini temsil etmektedir. Dağılımın başlangıç standart sapması olan  $\sigma_0$ , aşağıdaki denklemlerle bulunur [38]:

$$\sigma_0 = \frac{\text{maks}(\text{üstsinir}) - \text{min}(\text{altsinir})}{2} \quad (4.4)$$

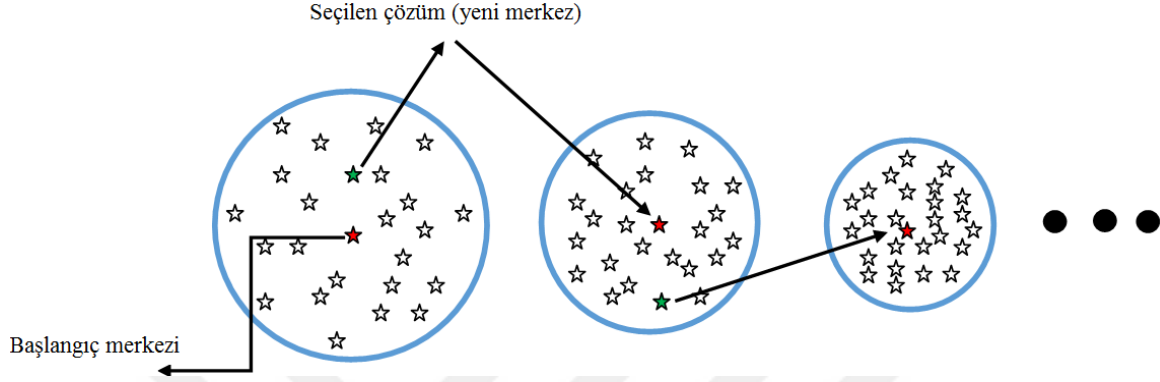
Burada,  $\sigma_0$  aynı zamanda, iki boyutlu bir optimizasyon için, en dıştaki çemberin başlangıç yarıçapı ( $r_0$ ) olarak da kabul edilir. Başlangıç aşamalarında, zayıf bir lokalizasyon gerektiğinden  $r_0$  oldukça büyük bir değer seçilir. Bundan dolayı, ilk adımda en dıştaki çemberin arama uzayını tam olarak kapsaması sağlanır [38].

Seçme aşamasında,  $C_0(s)$  içerisinde en iyi çözüm olan  $s'$  seçilir ve hafızaya alınır. Bu çözüm, geçerli çember merkezi olan  $\mu_0$ 'ın yerine yazılır. Ancak, seçme aşamasından önce bütün aday çözümlerin, arama sınırları içinde olması sağlanmalıdır. Bu nedenle, arama sınırları içerisinde olmayan aday çözümler, aşağıdaki denklemler yardımıyla arama sınırları içine çekilir [38]:

$$s_k^i = \begin{cases} \text{rand} \cdot (\text{üstsinir}^i - \text{altsinir}^i) + \text{altsinir}^i & ; s_k^i < \text{altsinir}^i \\ s_k^i & ; \text{altsinir}^i \leq s_k^i \leq \text{üstsinir}^i \\ \text{rand} \cdot (\text{üstsinir}^i - \text{altsinir}^i) + \text{altsinir}^i & ; s_k^i > \text{üstsinir}^i \end{cases} \quad (4.5)$$

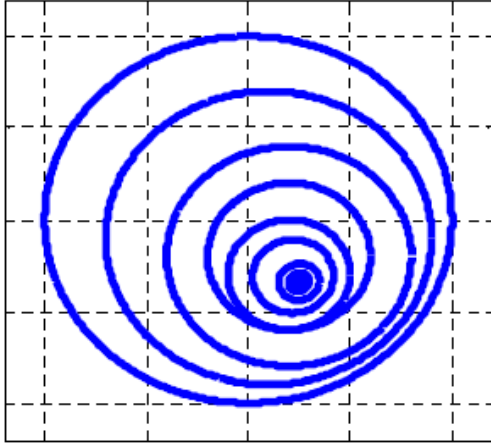
Burada,  $k=1, 2, 3, \dots, n$ ;  $i=1, 2, 3, \dots, d$  ve  $\text{rand}$  ise düzgün dağılımlı rastgele sayıdır. Bundan sonra hafızaya alınan en iyi çözüm  $s'$ , içteki ikinci çemberin merkezi olarak atanır. Bu aşamadan sonra, yeni çemberin yarıçapı azaltılır ve yeni merkez etrafında  $C_1(s)$  aday çözümleri oluşturulur. Çemberin yarıçapının azalmasıyla birlikte, oluşturulan komşuların lokalizasyonu artmaktadır. İkinci adımın seçme aşamasında,  $C_1(s)$ 'in en iyi çözümü  $s' \in C_1(s)$  belirlenir. Eğer belirlenen çözüm, o ana kadarki en iyi çözümden daha iyi ise, bu çözüm yeni en iyi çözüm olarak atanır ve hafızaya alınır. Daha sonra oluşturulan üçüncü

çemberin merkezi, o ana kadarki hafızaya alınmış en iyi çözüme atanır. Bu iterasyon süreci sonlandırma şartı sağlanıncaya kadar devam eder. Bu süreç, Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu süreç sonunda oluşturulan en küçük çemberin merkezi, GAA tarafından bulunan optimum noktadır [38].



Şekil 4.1. Arama işleminin şematik gösterimi

Süreç sonunda oluşan girdap şekilleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir [38].



Şekil 4.2. GAA'nın arama süreci sonrası oluşan gösterimi

Yarıçap azaltma süreci, ayarlanabilir adım aralığı süreci olarak kabul edilebilir ve girdap arama algoritmasının performansı için oldukça önemlidir. Girdap arama algoritmasında, her bir iterasyon geçişi boyunca yarıçap değeri ters tamamlanmamış gama fonksiyonu kullanılarak azaltılır ve bu fonksiyon Eş. 4.6’da gösterilmektedir [38]:

$$\gamma(x, a) = \int_0^x e^{-t} t^{a-1} dt \quad ; \quad a > 0 \quad (4.6)$$

Burada,  $a$ , 0'dan büyük olmak üzere şekil parametresi olarak bilinir ve  $x \geq 0$  olmak üzere rastgele seçilen bir değişkendir. Tamamlanmamış gama fonksiyonu ile birlikte, onun tamamlayıcısı  $\Gamma(x, a)$ 'da genellikle tanıtılır [38]:

$$\Gamma(x, a) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{a-1} dt \quad ; \quad a > 0 \quad (4.7)$$

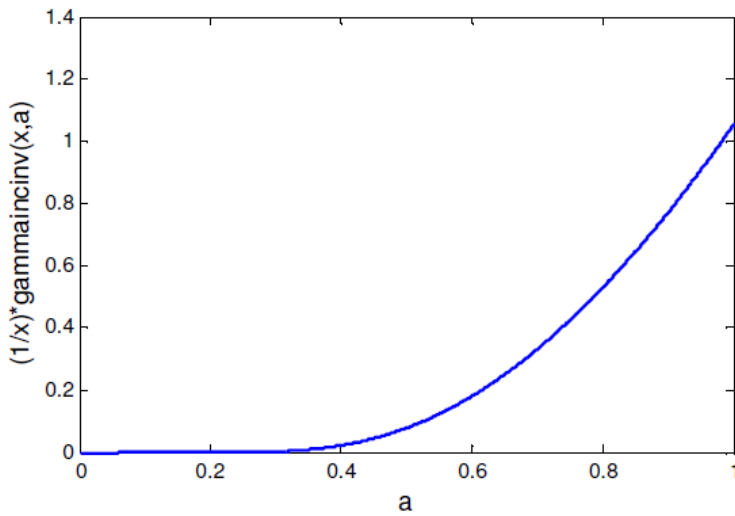
$$\gamma(x, a) + \Gamma(x, a) = \Gamma(a) \quad (4.8)$$

Burada,  $\Gamma(a)$  gama fonksiyonu olarak bilinir [38].

Ters tamamlanmamış gama fonksiyonunun  $x=0.1$  ve  $a \in [0,1]$  için gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir.  $[0,1]$  aralığı içinde  $a$  değerlerinden eşit örnekleme yaparak, aramanın çözünürlüğü ayarlanabilir. Bu amaçla, her bir iterasyonda  $a$  değeri aşağıdaki denklemle hesaplanır [38]:

$$a_t = a_0 - \frac{t}{\text{MaxItr}} \quad (4.9)$$

Burada,  $a_0$ , tüm arama uzayını kapsaması açısından 1 olarak seçilir;  $t$  iterasyon indeksi ve  $\text{MaxItr}$  maksimum iterasyon sayısını göstermektedir [38].



Şekil 4.3.  $(1/x) \cdot \text{gammaincinv}(x, a)$ ;  $x=0.1$  ve  $a \in [0,1]$  için gösterimi

Başlangıç yarıçapı  $r_0$ , Eş. 4.10 kullanılarak hesaplanabilir.  $a_0=1$  olduğundan, sonuçlanan

fonksiyon değeri  $(1/x) \cdot \text{gammaincinv}(x, a_0) \approx 1$  olur ve buradan da  $r_0 \approx \sigma_0$  olur [38].

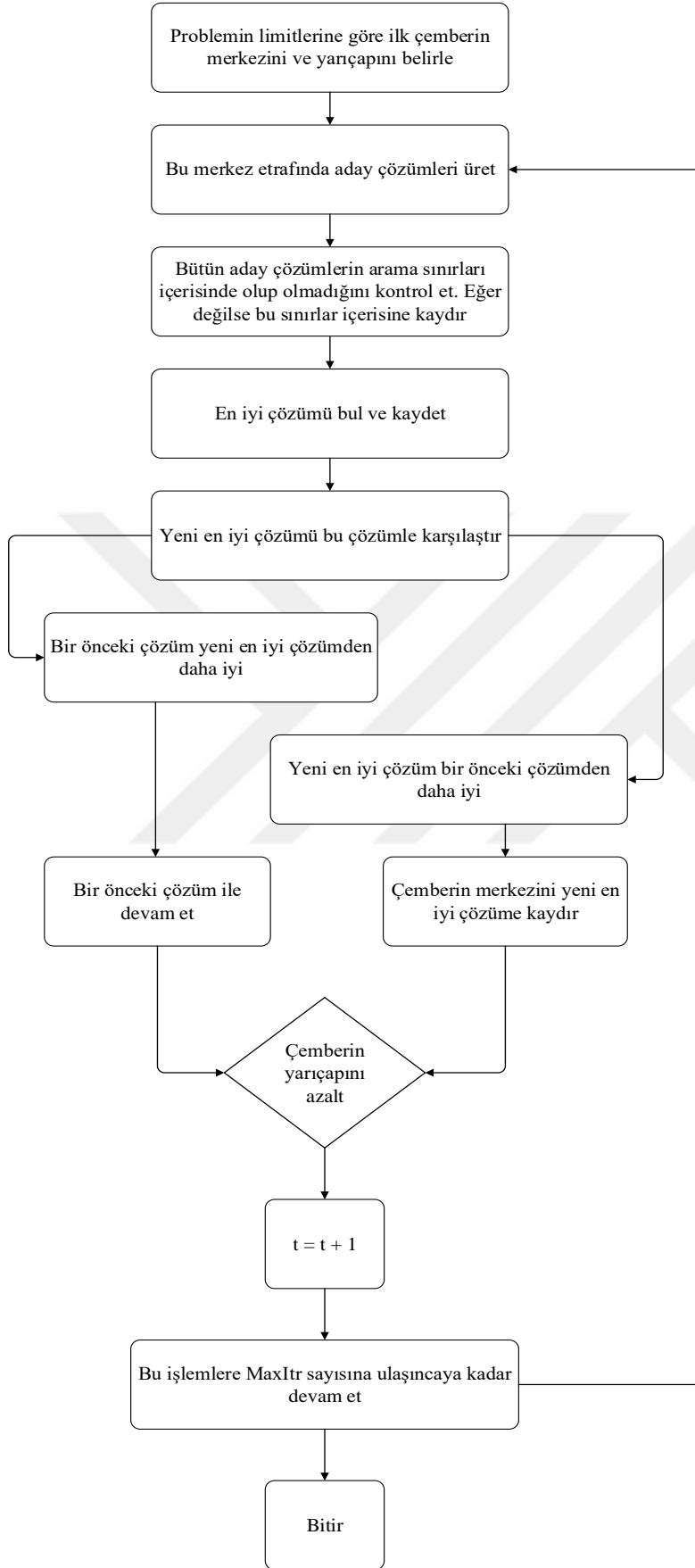
$$r_0 = \sigma_0 \cdot \left(\frac{1}{x}\right) \cdot \text{gammaincinv}(x, a_0) \quad (4.10)$$

Her bir iterasyon geçişinde yarıçap değeri, aşağıda verilen genel denklem ile elde edilir [38]:

$$r_t = \sigma_0 \cdot \left(\frac{1}{x}\right) \cdot \text{gammaincinv}(x, a_t) \quad (4.11)$$

Girdap arama algoritması için akış diyagramı Şekil 4.4'te gsterilmiştir:





Şekil 4.4. GAA akış şeması

## 4.2. Değiştirilmiş Girdap Arama Algoritması

Girdap arama algoritmasında, aday çözümler her bir iterasyonda tek bir nokta etrafında oluşturulur. İlk iterasyon için başlangıç merkezi  $\mu_0$ 'dır ve problemin alt ve üst sınırları ile belirlenir. Daha sonraki iterasyonlarda ise merkez, o ana kadar ki en iyi çözüme kaydırılır [38].

Değiştirilmiş girdap arama algoritmasında, aday çözümler her bir iterasyonda birçok merkez etrafında oluşturulur. Değiştirilmiş girdap arama algoritmasının arama yaklaşımı, her bir iterasyon geçişinde farklı merkezlere sahip birçok paralel girdaptan oluşur. İlk başlangıçta bu girdapların merkezleri, girdap arama algoritmasında ilk merkezin seçildiği şekilde seçilir. Toplam merkez sayısı (aynı zamanda toplam girdap sayısıdır)  $m$  ile temsil edilir.  $M_t(\mu)$ , her bir iterasyonda  $m$  merkezlerindeki değerlerin depolandığı matrisi göstermektedir ve  $t$  iterasyon indeksidir. Bundan dolayı başlangıçta;

$$M_0(\mu) = \{\mu_0^1, \mu_0^2, \mu_0^3, \dots, \mu_0^l\} \quad ; l = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.12)$$

olur ve bu merkezlerin başlangıç pozisyonları aşağıdaki denklemle hesaplanır [38]:

$$\mu_0^1 = \mu_0^2 = \mu_0^3 = \dots = \mu_0^l = \frac{\text{üst sınır} + \text{alt sınır}}{2} \quad ; l = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.13)$$

Bu adımdan sonra, başlangıç yarıçap değeri  $r_0$  kullanılarak, bu merkezler etrafında Gaussian dağılımıyla birçok aday çözüm üretilir. Eğer,  $m$  merkez etrafında toplam  $n$  adet aday çözüm üretilirse, her bir merkez etrafında üretilecek aday çözüm sayısı  $n/m$  olmalıdır. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilir [38]:

$$CS_t^l(s) = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad ; k=1, 2, \dots, n/m \quad ; l = 1, 2, \dots, m \quad (4.14)$$

$t = 0$  iterasyonu için oluşturulan toplam çözümler aşağıdaki şekilde ifade edilir [38]:

$$C_0(s) = \{CS_0^1, CS_0^2, CS_0^3, \dots, CS_0^l\} \quad ; l = 1, 2, \dots, m \quad (4.15)$$

Seçim aşamasında, her bir çözüm kümesi için en iyi çözüm  $s'_l \in CS_0^l(s)$  seçilir. Seçim

aşamasından önce, çözüm kümeleri içindeki aday çözümlerin arama sınırları içerisinde olması gerekmektedir. Bu nedenle, eğer aday çözümler arama sınırları içerisinde değilse aşağıda eşitlikler kullanılarak arama sınırları içine kaydırılır [38]:

$$s_k^i = \begin{cases} rand \cdot (\text{üstsinir}^i - \text{altsinir}^i) + \text{altsinir}^i & ; s_k^i < \text{altsinir}^i \\ s_k^i & ; \text{altsinir}^i \leq s_k^i \leq \text{üstsinir}^i \\ rand \cdot (\text{üstsinir}^i - \text{altsinir}^i) + \text{altsinir}^i & ; s_k^i > \text{üstsinir}^i \end{cases} \quad (4.16)$$

Her bir alt kümenin en iyi çözümleri, her iterasyonda  $PBest_t(s')$  matrisinde saklanır.  $t = 0$  için;

$$PBest_0(s') = \{s'_1, s'_2, s'_3, \dots, s'_l\} \quad ; l = 1, 2, \dots, m \quad (4.17)$$

olur.  $PBest_0(s')$  matrisinin en iyi çözümü, aynı zamanda toplam aday çözümlerinin en iyi çözümüdür ve  $Itr_{best}$  ile gösterilir [38].

Girdap arama algoritmasında, her iterasyonda merkez o ana kadarki en iyi çözüm olan  $s_{best}$ 'e kaydırılır. Ancak değiştirilmiş girdap arama algoritmasında, her bir iterasyonda pozisyonları güncellenmesi gereken  $m$  adet merkez vardır. Girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması arasındaki en önemli farkta tam olarak burada çıkmaktadır. Değiştirilmiş girdap arama algoritmasında, bu merkezlerden biri tekrar o ana kadarki en iyi çözüm olan  $s_{best}$ 'e kaydırılır. Ancak, geri kalan  $m-1$  merkez, o ana kadar bulunan en iyi pozisyon ve  $t$  iterasyonunda her bir merkez etrafında oluşturulan en iyi pozisyonlar tarafından belirlenen yeni pozisyona kaydırılır. Bu durum, Eş. 4.18'de gösterilmektedir [38]:

$$\mu_t^l = s_l' + rand \cdot (s_l' + s_{best}) \quad (4.18)$$

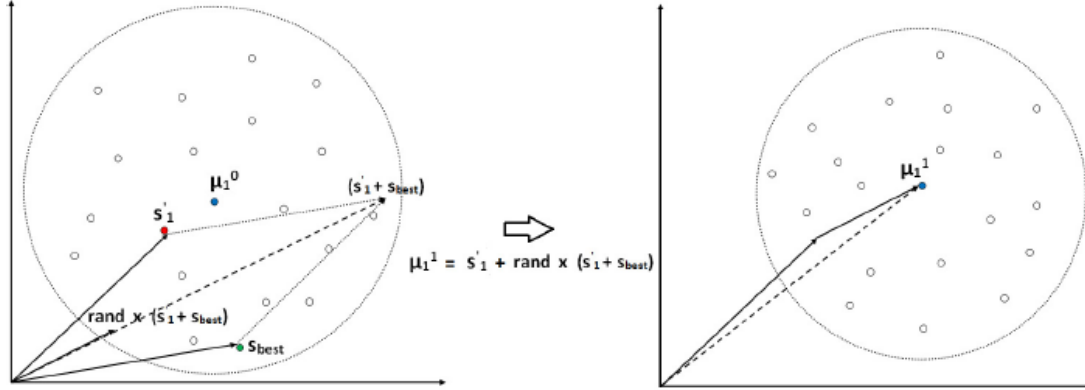
Burada,  $rand$  düzgün dağılımlı rastgele sayıyı;  $l = 1, 2, \dots, m$  ve  $s_l' \in PBest_{t-1}(s')$ 'yü ifade eder. Bundan dolayı,  $t = 1$  için,

$$M_1(\mu) = \{\mu_1^1, \mu_1^2, \mu_1^3, \dots, \mu_1^l\} \quad ; l = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.19)$$

Eş. 4.19'daki değerler ve  $s_l' \in PBest_0(s')$  pozisyonları ve o ana kadar ki bulunan en iyi



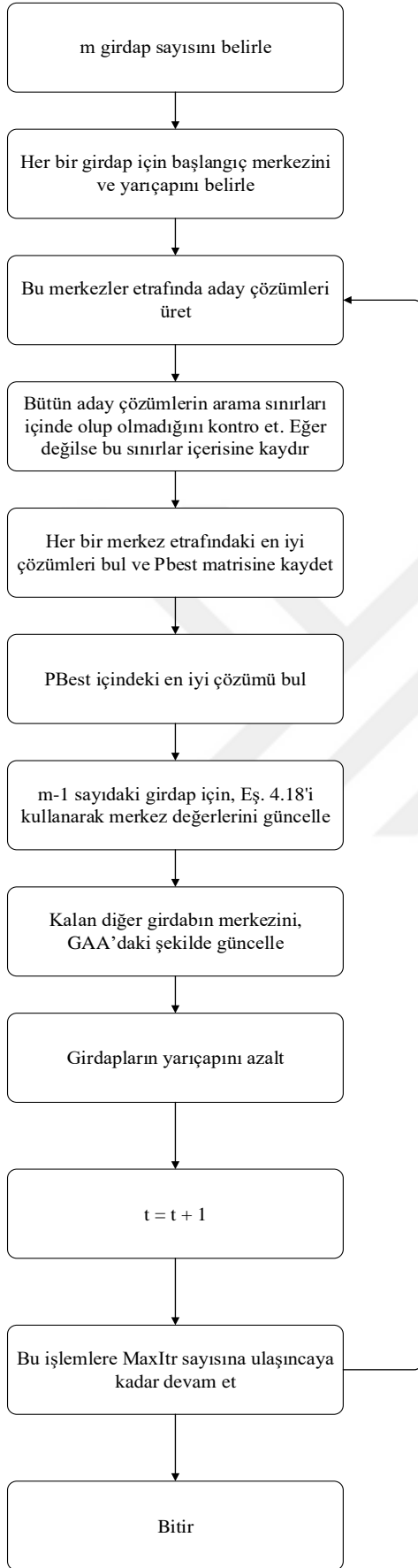
pozisyon olan  $s_{best}$  kullanılarak belirlenir. Bu durum, iki boyutlu bir problem için Şekil 4.5'te gösterilmiştir ve bu şekilde sadece bir merkez dikkate alınmıştır [38].



Şekil 4.5. DGAA için merkez güncellemesinin gösterimi (Bir merkez için gösterim)

Değiştirilmiş girdap arama algoritmasındaki yarıçap azaltma işlemleri, girdap arama algoritmasındaki yarıçap azaltma işlemleri ile tamamen aynıdır. Her bir iterasyon geçişinde, yarıçap ters tamamlanmamış gama fonksiyonu kullanılarak azaltılır ve böylece oluşturulan çözümlerin lokalizasyonu artırılır.

Değiştirilmiş girdap arama algoritması için akış diyagramı Şekil 4.6'da gösterilmiştir:



Şekil 4.6. DGAA akış şeması

## 5. KULLANILAN GÜÇ SİSTEMLERİ VE ANALİZLERİ

Bu tez çalışmasında EYD, EED ve BEED problemlerinin çözümü için farklı güç sistemleri kullanılmıştır. Bu güç sistemlerine farklı kısıtlar uygulanarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

### 5.1. EYD İçin Kullanılan Güç Sistemleri

Ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılan güç sistemleri ve bu güç sistemlerine dahil edilen kısıtlar aşağıdaki bölümlerde gösterilmektedir.

#### 5.1.1. Rampa oranı limitlerinin dahil edildiği 3 üniteli güç sistemi için EYD

Üç üniteli bir güç sisteminin ekonomik yük dağıtım gerçekleştirilmiştir. Bu güç sistemi için kısıt olarak sadece rampa oranı limitleri (ROL) kullanılmıştır. Sisteme ait katsayılar ve ilgili değerler, Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Bu güç sisteminin ekonomik yük dağıtım, 850 MW için gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. EYD için ROL’ün dahil edildiği üç üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları, maksimum-minimum limitleri ve rampa oranı limitleri

Ünite	a	b	c	$P_{\min}(\text{MW})$	$P_{\max}(\text{MW})$	UR	DR	$P^0$
1	0,004820	7,97	78	50	200	50	90	170
2	0,001940	7,85	310	100	400	80	120	350
3	0,001562	7,92	562	100	600	80	120	440

Rampa oranı limitlerinin dahil edildiği üç üniteli bu güç sistemi için girdap arama algoritması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu sonuçlar GA ve ABC ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.2. EYD için ROL'ün dahil edildiği üç üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	GA	ABC	GAA
P1	120,23	123,34	126,22
P2	374,78	342,33	332,73
P3	354,97	384,65	391,03
Maliyet(\$/sa)	8 199,6	8 196,2	8 195,4

GAA ile yapılan dağıtım sonuçlarına göre, 3 üniteli bu sistem için toplam yakıt maliyeti 8195,4 \$/sa olarak bulunmuştur.

### 5.1.2. Rampa oranı limitlerinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD

Bu bölümde, altı üniteli güç sistemi için rampa oranı limitlerinin dahil edildiği ekonomik yük dağıtımı yapılmıştır. Altı üniteli bu güç sistemi için kullanılan parametreler, Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Bu sistem için talep edilen toplam güç değeri 1263 MW'tır.

Çizelge 5.3. EYD için ROL'ün dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları, maksimum-minimum limitleri ve rampa oranı limitleri

Ünite	a	b	c	$P_{\min}$ (MW)	$P_{\max}$ (MW)	UR	DR	$P^0$
1	0,0070	7	240	100	500	80	120	440
2	0,0095	10	200	50	200	50	90	170
3	0,0090	8,5	220	80	300	65	100	200
4	0,0090	11	200	50	150	50	90	150
5	0,0080	10,5	200	50	200	50	90	190
6	0,0075	12	190	50	120	50	90	110

Bu güç sistemine ait GAA ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmiştir ve [33]'te yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.4. EYD için ROL'ün dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	PSO	PSOCFA	PSOCFIWA	GAA
P1	446.70	446.50	446.66	453,06
P2	171.25	171.10	171.66	168,43
P3	264.10	265.00	263.77	260,53
P4	125.21	125.05	125.44	121,19
P5	172.11	171.93	171.58	169,10
P6	83.59	83.40	83.86	90,55
Maliyet(\$/sa)	15 276	15 276	15 276	15 275,55

GAA ile yapılan ekonomik dağıtım sonucuna bakıldığında, altı üniteli bu sistem için toplam maliyet 15275,55 \$/sa bulunmuştur.

### 5.1.3. İletim hattı kayıplarının dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD

Bu güç sistemi için iletim hattı kayıpları (İHK) dikkate alınarak ekonomik yük dağıtımını gerçekleştirilmiştir. Güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri, Çizelge 5.5'te verilmiştir. Ayrıca, bu sisteme ait diğer parametreler, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de verilmiştir. Bu sistem için talep edilen toplam güç 1263 MW olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri

$B=10^{-4} \times$	0,17	0,12	0,07	-0,01	-0,05	-0,02
	0,12	0,14	0,09	0,01	-0,06	-0,01
	0,07	0,09	0,31	0,01	-0,10	-0,06
	-0,01	0,01	0,00	0,24	-0,06	-0,08
	-0,05	-0,06	-0,10	-0,06	1,29	-0,02
	-0,02	-0,01	-0,06	-0,08	-0,02	1,5
$B_0=10^{-4} \times$	-3,9080	-1,2970	7,0470	0,5910	2,1610	-6,6350
$B_{00} =$	0,056					

Çizelge 5.6. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları

Ünite	a	b	c
1	0,0070	7	240
2	0,0095	10	200
3	0,0090	8.5	220
4	0,0090	11	200
5	0,0080	10.5	220
6	0,0075	12	190

Çizelge 5.7. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum ve minimum limitler

Ünite	$P_{maks}(MW)$	$P_{min}(MW)$
1	500	100
2	200	50
3	300	80
4	150	50
5	200	50
6	120	50

İletim hattı kayıplarının dahil edildiği bu güç sistemi için, GAA kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8'de verilmiştir ve GA kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.8. EYD için İHK'nın dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	GA	GAA
P1	427,3488	441,6283
P2	169,6719	176,1116
P3	284,8024	267,8142
P4	150,0000	137,5056
P5	156,8996	169,1874
P6	86,5704	83,3137
$P_{\text{kayıp}}$	12,2930	12,5607
Maliyet(\$/sa)	15 453	15 444

Çizelge 5.8'de verilen sonuçlara bakıldığında, iletim hatlarında toplam 12,5607 MW kayıp güç oluşurken toplam yakıt maliyeti 15444 \$/sa olarak bulunmuştur [39].

#### 5.1.4. İletim hattı kayıpları ve vana noktası etkisinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD

Bu güç sistemine, iletim hattı kayıplarının yanı sıra vana noktası etkisi (VNE) de dahil edilmiştir. Bu güç sisteminde, 1000 MW'lık toplam talep gücü için ekonomik yük dağıtımı yapılmıştır. Sisteme ait kayıp katsayıları matrisleri, Çizelge 5.9'da ve diğer parametreler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri

$B=10^{-4} \times$	0,17	0,12	0,07	-0,01	-0,05	-0,02
	0,12	0,14	0,09	0,01	-0,06	-0,01
	0,07	0,09	0,31	0,01	-0,10	-0,06
	-0,01	0,01	0,00	0,24	-0,06	-0,08
	-0,05	-0,06	-0,10	-0,06	1,29	-0,02
	-0,02	-0,01	-0,06	-0,08	-0,02	1,5
$B_0=10^{-4} \times$	-3,9080	-1,2970	7,0470	0,5910	2,1610	-6,6350
$B_{00} =$	0,056					

Çizelge 5.10. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum-minimum limitler ile yakıt maliyet ve vana noktası etkisi katsayıları

Ünite	a	b	c	e	f	$P_{maks}(MW)$	$P_{min}(MW)$
1	0,0070	7	240	300	0,035	500	100
2	0,0095	10	200	200	0,042	200	50
3	0,0090	8,5	220	200	0,042	300	80
4	0,0090	11	200	150	0,063	150	50
5	0,0080	10,5	220	150	0,063	200	50
6	0,0075	12	190	150	0,063	120	50

Bu güç sistemi için GAA kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11'de verilmiştir ve GA kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:



Çizelge 5.11. EYD için İHK ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	GA	GAA
P1	367,9700	451,4371
P2	191,8160	130,5134
P3	83,0638	155,0430
P4	150,0000	104,9981
P5	112,2485	115,7401
P6	102,3040	50,2471
$P_{\text{kayıp}}$	7,4026	7,9829
Maliyet(\$/sa)	12 502	12 365

İletim hattı kayıpları ve vana noktası dahil edilerek yapılan ekonomik yük dağıtımını sonucunda, toplam kayıp güç 7,9829 MW ve toplam maliyet 12365 \$/sa olarak bulunmuştur [39].

#### 5.1.5. İletim hattı kayıpları, rampa oranı limitleri ve yasaklı bölgelerin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD

Altı üniteli bir güç sisteminin ekonomik yük dağıtımını yapılırken, üç farklı kısıt sisteme dahil edilmiştir. Kısıt faktörleri olarak, iletim hattı kayıpları için Çizelge 5.12'deki katsayılar, yasaklı bölgeler (YB) için Çizelge 5.14'deki aralıklar ve rampa oranı limitleri için Çizelge 5.15'teki değerler kullanılmıştır. Bu güç sisteminin ekonomik yük dağıtımını, 1263 MW için gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.12. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri

$B=10^{-4} \times$	0,17	0,12	0,07	-0,01	-0,05	-0,02
	0,12	0,14	0,09	0,01	-0,06	-0,01
	0,07	0,09	0,31	0,01	-0,10	-0,06
	-0,01	0,01	0,00	0,24	-0,06	-0,08
	-0,05	-0,06	-0,10	-0,06	1,29	-0,02
	-0,02	-0,01	-0,06	-0,08	-0,02	1,5
$B_0=10^{-4} \times$	-3,9080	-1,2970	7,0470	0,5910	2,1610	-6,6350
$B_{00}=\phantom{10^{-4} \times}$	0,056					

Çizelge 5.13. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları

Ünite	a	b	c
1	0,0070	7	240
2	0,0095	10	200
3	0,0090	8,5	220
4	0,0090	11	200
5	0,0080	10,5	220
6	0,0075	12	190

Çizelge 5.14. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait maksimum minimum limitler ve yasaklı bölgeler

Ünite	$P_{maks}(MW)$	$P_{min}(MW)$	Yasaklı Bölgeler
1	500	100	210-240, 350-380
2	200	50	90-110, 140-160
3	300	80	150-170, 210-240
4	150	50	80-90, 110-120
5	200	50	90-110, 140-150
6	120	50	75-85, 100-105

Çizelge 5.15. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait rampa oranı limitleri

Ünite	$P^0$	UR	DR
1	440	80	120
2	170	50	90
3	200	65	100
4	150	50	90
5	190	50	90
6	150	50	90

Üç farklı kısıtın kullanıldığı bu güç sistemi için, GAA kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.16'da verilmiştir ve [40]'ta yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.16. EYD için İHK, ROL ve YB'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	GA	PSO	MFO	GAA
P1	474.80	447.49	426,08	446,03
P2	178.63	173.32	199,80	181,09
P3	262.20	263.47	247,49	263,45
P4	134.28	139.05	136,94	133,96
P5	151.90	165.47	166,24	176,65
P6	74.18	87.12	98,93	74,53
P <sub>kayıp</sub>	13.02	12.95	12,51	12,73
Maliyet(\$/sa)	15 459	15 450	15 448,7	15 447

1263 MW talep gücü için ekonomik yük dağıtımını yapılan bu sistemde, toplam kayıp güç 12,73 MW ve toplam maliyet 15447 \$/sa olarak bulunmuştur [30].

#### 5.1.6. İletim hattı kayıpları, rampa oranı limitleri ve vana noktası etkisinin dahil edildiği 6 üniteli güç sistemi için EYD

Bu güç sistemi için, iletim hattı kayıpları, rampa oranı limitleri ve vana noktası etkisi kullanılarak ekonomik yük dağıtımını gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.17'de kayıp katsayıları matrisleri, Çizelge 5.18'de yakıt maliyet ve vana noktası katsayıları, Çizelge 5.19'da maksimum minimum limitler ile rampa oranı limitleri verilmiştir. Talep edilen 1263 MW'lık güç için sistemin ekonomik yük dağıtımını yapılmıştır.

Çizelge 5.17. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisleri

$B=10^{-4} \times$	0,17	0,12	0,07	-0,01	-0,05	-0,02
	0,12	0,14	0,09	0,01	-0,06	-0,01
	0,07	0,09	0,31	0,01	-0,10	-0,06
	-0,01	0,01	0,00	0,24	-0,06	-0,08
	-0,05	-0,06	-0,10	-0,06	1,29	-0,02
	-0,02	-0,01	-0,06	-0,08	-0,02	1,5
$B_0=10^{-4} \times$	-3,9080	-1,2970	7,0470	0,5910	2,1610	-6,6350
$B_{00}=\$	0,056					

Çizelge 5.18. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet ve vana noktası etkisi katsayıları

Ünite	a	b	c	e	f
1	0.0070	7	240	300	0.031
2	0.0095	10	200	150	0.063
3	0.0090	8.5	220	200	0.042
4	0.0090	11	200	100	0.08
5	0.0080	10.5	220	150	0.063
6	0.0075	12	190	100	0.084

Çizelge 5.19. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait rampa oranı ve maksimum minimum limitler

Ünite	$P^0$	UR	DR	$P_{maks}(MW)$	$P_{min}(MW)$
1	440	80	120	500	100
2	170	50	90	200	50
3	200	65	100	300	80
4	150	50	90	150	50
5	190	50	90	200	50
6	150	50	90	120	50

GAA kullanılarak yapılan ekonomik yük dağıtım işleminden elde edilen sonuçlar, Çizelge 5.20'de verilmiştir ve [41]'de yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.20. EYD için İHK, ROL ve VNE'nin dahil edildiği altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	PSO	CPSO	WIPSO	MRPSO	GAA
P1	443.03	467.55	437.82	442.07	495.29
P2	169.03	163.05	173.28	167.23	195.90
P3	262.02	253.41	271.97	267.09	235.79
P4	134.78	115.07	138.70	132.81	65.62
P5	147.47	169.45	146.98	155.02	197.82
P6	125.35	113.24	103.63	107.02	87.27
$P_{kayıp}$	18.68	18.70	18.08	18.03	12.92
Maliyet(\$/sa)	16 372.9	16 329.2	16 327	16 310.76	15 746

Üç farklı kısıtın kullanıldığı bu sistemin ekonomik yük dağıtım işleminde, iletim hatlarındaki toplam kayıp güç 12,92 MW ve oluşan toplam maliyet 15746 \$/sa olarak bulunmuştur [30].

## 5.2. EED İçin Kullanılan Güç Sistemleri

Ekonomik emisyon dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılan güç sistemleri ve bu güç sistemlerine ait bilgiler aşağıdaki bölümlerde gösterilmektedir.

### 5.2.1 3 üniteli güç sistemi için EED

Bu bölümde, üç üniteli bir güç sisteminde, ekonomik emisyon dağıtım NO<sub>x</sub> için yapılmıştır. NO<sub>x</sub> emisyon gazı, katı, sıvı veya gaz kullanan tüm termik sistemler tarafından salınmaktadır. Sisteme ait emisyon katsayıları, iletim hattı kayıp katsayı matrisi ve maksimum-minimum limitler [42]'den alınmıştır. Sistemin ekonomik emisyon dağıtım 850 MW için gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.21. EED için üç üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları ve maksimum-minimum limitler

Ünite	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$P_{\min}(\text{MW})$	$P_{\max}(\text{MW})$
1	1,47218e-7	-9,4868e-5	0,04373	150	600
2	3,02075e-7	-9,7252e-5	0,05582	100	400
3	1,93385e-6	-3,5373e-4	0,02773	50	200

Çizelge 5.22. EED için üç üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi

B=	0,00003	0,00000	0,00000
	0,00000	0,00009	0,00000
	0,00000	0,00000	0,00012

Değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılarak yapılan EED sonuçları aşağıda verilmiştir ve [43]'te yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.23. EED için üç üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	NSGA-II	DGAA
P1	508,367	508,7519
P2	250,444	250,4052
P3	105,934	105,5884
$P_{\text{kayıp}}$	14,74	14,74
NOx Emisyon (kg/sa)	0,095924	0,095923

Üç üniteli bu güç sistemine ait DGAA ile yapılan ekonomik emisyon dağıtımı sonucunda, sistemin toplam kayıp gücü 14,74 MW ve toplam emisyon değeri 0,095923 kg/sa olarak bulunmuştur.

### 5.2.2. 6 üniteli güç sistemi için EED

Bu bölümde, altı üniteli bir güç sistemi için ekonomik emisyon dağıtımı gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait emisyon katsayıları, B kayıp katsayıları matrisi ve maksimum-minimum limit değerleri [44]'ten alınmıştır ve Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'te gösterilmiştir. Katı yakıt kullanan bu termik sistem için talep edilen toplam güç 1263 MW olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.24. EED için altı üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları

Ünite	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$P_{\text{min}}(\text{MW})$	$P_{\text{maks}}(\text{MW})$
1	0,00419	0,32767	13,85932	10	125
2	0,00419	0,32767	13,85932	10	150
3	0,00683	-0,54551	40,26690	35	225
4	0,00683	-0,54551	40,26690	35	210
5	0,00461	-0,51116	42,89553	130	325
6	0,00461	-0,51116	42,89553	125	315



Çizelge 5.25. EED için altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayıları matrisi

$B=10^{-4} \times$	1,40	0,17	0,15	0,19	0,26	0,22
	0,17	0,60	0,13	0,16	0,15	0,20
	0,15	0,13	0,65	0,17	0,24	0,19
	0,19	0,16	0,17	0,71	0,30	0,25
	0,26	0,15	0,24	0,30	0,69	0,32
	0,22	0,20	0,19	0,25	0,32	0,85

700 MW talep gücü için DGAA kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26. EED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite Güçleri	DGAA
P1	79,9797
P2	81,0926
P3	112,7231
P4	111,8065
P5	168,1953
P6	162,8065
$P_{\text{kayıp}}$	16,6038
Emisyon (kg/sa)	434,2729

Bulunan emisyon değeri [44]'te yer alan HGA ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.27. EED için altı üniteli güç sistemine ait DGAA ve HGA emisyon karşılaştırması

	$P_{kayıp}$	Emisyon (kg/sa)
DGAA	16,6038	434,2729
HGA	17,366	435,075

Altı üniteli bu güç sistemi için, iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıp güç 16,6038 MW bulunurken toplam emisyon değeri 434,2729 kg/sa olarak bulunmuştur.

### 5.3. BEED İçin Kullanılan Güç Sistemleri

Birleşik ekonomik-emisyon dağıtım problemlerinin çözümü için üç üniteli, altı üniteli ve on üniteli güç sistemleri kullanılmıştır. Bu sistemler için BEED yapılırken, girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması yöntemleri kullanılmıştır. Bu güç sistemleri ile ilgili bilgiler alt bölümlerde verilmiştir.

#### 5.3.1. 3 üniteli güç sistemi için BEED

Üç üniteli güç sisteminin birleşik ekonomik-emisyon dağıtım yapılırken, değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılmıştır. Bu sistem için 400 MW, 500 MW ve 700 MW talep güçleri için BEED yapıp elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Bu sisteme ait veriler [45]'ten alınmıştır.

Çizelge 5.28. BEED için üç üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları ve maksimum-minimum limitler

Ünite	a	b	c	$P_{min}(MW)$	$P_{maks}(MW)$
1	0,03546	38,30553	1243,53110	35	210
2	0,02111	36,32782	1658,56960	130	325
3	0,01799	38,27041	1356,65920	125	315

Çizelge 5.29. BEED için üç üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları

Ünite	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	0,00683	-0,5455	40,26690
2	0,00461	-0,5116	42,89553
3	0,00461	-0,5116	42,89553

Çizelge 5.30. BEED için üç üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi

B=	0.000070	0.000025	0.000030
	0.000030	0.000069	0.000032
	0.000025	0.000032	0.000080

Çizelge 5.31. BEED için üç üniteli güç sistemine ait, farklı güç değerleri için elde edilen sonuçlar

	400 MW için	500 MW için	700 MW için
h	44.7880	44,7880	47,8200
P1	100,91	127,71	184,71
P2	155,23	194,39	270,49
P3	151,25	189,57	268,08
$P_{\text{kayıp}}$	7.40	11,69	23,29
Maliyet(\$/sa)	20 834	25 490	35 468
Emisyon(kg/sa)	200,32	311,23	651,41

Çizelge 5.32. BEED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçların karşılaştırması

Talep Güç	Performans	h	Geleneksel Metot	SGA	RGA	DGAA
400	Maliyet(\$/sa)	44,788	20 898,83	2083,54	20 801,81	20 834
	Emisyon(kg/sa)		201,5	201,35	201,21	200,32
	$P_{kayıp}$		7,41	7,69	7,39	7,40
	Toplam Maliyet(\$/sa)		29 922	29 820	29 812	29 806
500	Maliyet(\$/sa)	44,788	25 486,64	25 474,56	25 491,64	25 490
	Emisyon(kg/sa)		312,00	311,89	311,33	311,23
	$P_{kayıp}$		11,88	11,80	11,70	11,69
	Toplam Maliyet(\$/sa)		39 458	39 441	39 433	39 430
700	Maliyet(\$/sa)	47,820	35 485,05	35 478,44	35 471,48	35 468
	Emisyon(kg/sa)		652,55	652,04	651,60	651,41
	$P_{kayıp}$		23,37	23,29	23,28	23,29
	Toplam Maliyet(\$/sa)		66 690	66 659	66 631	66 619

Bu sistem için DGAA ile yapılan BEED işleminde; 400 MW için maliyet değeri 20834 \$/h ve emisyon değeri 200,32 kg/h, 500 MW için maliyet değeri 25490 \$/h ve emisyon değeri 311,23 kg/h, 700 MW için maliyet değeri 35468 \$/h ve emisyon değeri 651,41 kg/h olarak bulunmuştur.

### 5.3.2. 6 üniteli güç sistemi için BEED

Bu bölümde altı üniteli bir güç sistemi için için ekonomik yük-emisyon dağıtımı yapılmıştır. Bu güç sistemine ait parametreler [46]'dan alınmıştır ve Çizelge 5.32, Çizelge 5.33, Çizelge 5.34'te gösterilmiştir. Sistemin birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı 700 MW için gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.35'te verilmiştir.

Çizelge 5.33. BEED için altı üniteli güç sistemine ait yakıt maliyet katsayıları ve maksimum minimum limitler

Ünite	a	b	c	$P_{\min}(\text{MW})$	$P_{\max}(\text{MW})$
1	0,15247	38,53973	756,79886	10	125
2	0,10587	46,15916	451,32513	10	150
3	0,02803	40,39655	1049,99770	35	225
4	0,03546	38,30553	1243,53110	35	210
5	0,02111	36,32782	1658,5696	130	325
6	0,01799	38,27041	1356,65920	125	315

Çizelge 5.34. BEED için altı üniteli güç sistemine ait emisyon katsayıları

Ünite	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	0,00419	0,32767	13,85932
2	0,00419	0,32767	13,85932
3	0,00683	-0,54551	40,26690
4	0,00683	-0,54551	40,26690
5	0,00461	-0,51116	42,89553
6	0,00461	-0,51116	42,89553

Çizelge 5.35. BEED için altı üniteli güç sistemine ait kayıp katsayı matrisi

B =	0,002022	-0,000286	-0,000534	-0,000565	-0,000454	-0,000103
	-0,000286	0,003243	0,000016	-0,000307	-0,000422	-0,000147
	-0,000533	0,000016	0,002085	0,000831	0,000023	-0,000270
	-0,000565	-0,000307	0,000831	0,001129	0,000113	-0,000295
	-0,000454	-0,000422	0,00023	0,000113	0,000460	-0,000153
	0,000103	-0,000147	-0,000270	-0,000295	-0,000153	0,000898

GAA kullanılarak yapılan BEED sonucu aşağıda verilmiştir ve [46]'da yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır:

Çizelge 5.36. BEED için altı üniteli güç sistemine ait sonuçlar

Ünite güçleri		NR	FCGA	NSGA-II	GAA
P1	h=47,8222	85,924	80,16	86,286	80,4767
P2		60,963	53,71	60,288	70,3671
P3		53,909	40,93	73,064	81,4786
P4		107,124	116,23	109,036	109,9876
P5		250,503	251,20	223,448	218,9950
P6		176,504	190,62	184,111	178,2422
$P_{\text{kayıp}}$		34,92	32,85	36,234	39,54
Maliyet(\$/sa)		39 070,74	38 408,82	38 671,813	38 859
Emisyon(kg/sa)		528,447	527,46	484,931	479,3736

700 MW için GAA kullanılarak birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtımı yapılan bu sistemde, toplam maliyet değeri 38859 (\$/sa) ve toplam emisyon değeri 479,3736 (kg/sa) olarak hesaplanmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ilk olarak, güç sistemlerinin işletim, kontrol ve planlaması açısından kritik öneme sahip olan ekonomik yük dağıtım problemi için çözüm geliştirilmiştir. Ekonomik yük dağıtım probleminin çözümünde, üç, altı ve on beş üniteli güç sistemleri kullanılmıştır. Bu güç sistemlerine rampa oranı limitleri, iletim hattı kayıpları, vana noktası etkisi ve yasaklı bölge kısıtlayıcı faktörleri uygulanmıştır.

Rampa oranı limitlerinin kullanıldığı üç, altı ve on beş üniteli güç sistemlerinin ekonomik yük dağıtım için girdap arama algoritması kullanılmıştır. Bu sistemlerden elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Girdap arama algoritması kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü için literatür ile uyumlu ve daha iyi sonuçların bulunduğu görülmektedir.

İletim hattı kayıpları, iletim hattı kayıpları-vana noktası etkisi, iletim hattı kayıpları-rampa oranı limitleri-yasaklı bölgeler, iletim hattı kayıpları-rampa oranı limitleri-vana noktası etkisi kısıtlayıcı faktörleri, altı üniteli güç sistemine ayrı ayrı uygulanmıştır. Girdap arama algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan farklı sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kısıtlayıcı faktörlerin artırıldığı durumlar için de, girdap arama algoritması kullanılarak bulunan sonuçların, ekonomik yük dağıtım probleminin çözümünde oldukça etkili sonuçlar olduğu görülmektedir.

İkinci olarak, bu tez çalışması kapsamında, güç sistemlerinin işletimi sırasında kullanılan yakıtın yanması sonucu doğaya salınan ve ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyen emisyon gazlarının etkisini minimum seviyeye indirmek için ekonomik emisyon dağıtım yapılmıştır. Ekonomik emisyon dağıtım probleminin çözümünde, değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılarak üç ve altı üniteli güç sistemlerine uygulanmıştır. Değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar literatürde yer alan diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde, ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde, değiştirilmiş girdap arama algoritmasının daha düşük emisyon değerleri verdiği görülmektedir.

Üçüncü olarak, bu tez çalışmasında, birbirinden bağımsız olan ekonomik yük dağıtımı ve ekonomik emisyon dağıtım problemlerini birbiri ile ilişkilendirerek, aynı anda bu bağımsız iki problemi çözmek amacıyla birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım yapılmıştır. Üç ve altı üniteli güç sistemlerinin birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım problemini çözmek için değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılmıştır. Bulunan sonuçların oldukça etkili sonuçlar olduğunu göstermek amacıyla, literatürdeki sonuçlar ile kıyaslama yapılmıştır. Değiştirilmiş girdap arama algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım problemlerinin çözümünde daha iyi sonuçlara sahip olduğu görülmektedir.

Son olarak, ekonomik yük dağıtım, ekonomik emisyon dağıtım ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılan girdap arama algoritması ve değiştirilmiş girdap arama algoritması ile farklı durumlar için yapılan çalışmaların, güç sistemlerinin ekonomik olarak işletilmesine yönelik ve çevreye salınan emisyon gazlarının azaltılmasına yönelik yapılacak çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir. Ayrıca, bu tez çalışmasında, üç ve altı üniteli güç sistemleri ile ilgili çalışmalar yapıldığından, daha fazla güç ünitesine sahip farklı güç sistemlerine, farklı kısıtlar eklenerek ekonomik yük dağıtım, ekonomik emisyon dağıtım ve birleşik ekonomik yük-emisyon dağıtım probleminin çözümüne yönelik çalışmalar da yapılacaktır.



## KAYNAKLAR

1. Dieu, V. N., Schegner, P., Ongsakul, W. (2011). *A newly improved particle swarm optimization for economic dispatch with valve point loading effects*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, USA.
2. Bhattacharya, B., Mandal, K. K., Chakraborty, N. (2011). *A hybrid cultural approach for combined economic and emission dispatch*. 2011 Annual IEEE India Conference, Hyderabad, India.
3. Farhat, I. A., El-Hawary, M. E. (2011). *Bacterial foraging algorithm for optimum economic-emission dispatch*. IEEE Electrical Power and Energy Conference, Winnipeg, Canada.
4. Kanoongo, S., Jain, P. (2012). *Blended biogeography based optimization for different economic load dispatch problem*. 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada.
5. Nagur, P. N., Raj, S., Jadhav, H. T. (2012). *Modified artificial bee colony algorithm for non-convex economic dispatch problems*. International Conference on Green Technologies, Trivandrum, India.
6. Vanitha, M., Thanushkodi, K. (2012). *Solving non-convex economic load dispatch problem by efficient hybrid simulated annealing algorithm*. IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies, Ramanathapuram, India.
7. Rahmat, N. A., Musirin, I. (2012). *Differential evolution ant colony optimization (deaco) technique in solving economic load dispatch problem*. IEEE International Power Engineering and Optimization Conference, Meleka, Malaysia.
8. Hamed, M., Mahdad, B., Srairi, K., Mancor, N. (2012). *Solving combined economic emission dispatch problem using time varying acceleration based pso*. International Conference on Environment and Electrical Engineering, Venice, Italy.
9. Krishnamurthy, S., Tzoneva, R. (2012). *Application of the particle swarm optimization algorithm to a combined economic emission dispatch problem using a new penalty factor*. IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa: Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources, Johannesburg, South Africa.
10. Subramanian, R., Thanushkodi, K., Prakash, A. (2013). *A numerical novel TANAN's algorithm for solving economic load dispatch problems*. International Conference on Current Trends in Engineering and Technology, Coimbatore, India.
11. Prabha, D. R., Raju, A. K. P., Saikumar, S., Mageshvaran, R., Babu, T. N. (2013). *Application of bacterial foraging and firefly optimization algorithm to economic load dispatch including valve point loading*. International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies, Nagercoil, India.

12. Arul, R., Velusami, S., Ravi, G. (2013). *Chaotic firefly algorithm to solve economic load dispatch problems*. International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy, Chennai, India.
13. Vanitha, M., Thanushkodi, K. (2013). *Non convex economic load dispatch problem by efficient biogeography based optimization algorithm*. International Conference on Current Trends in Engineering and Technology, Coimbatore, India.
14. Gargeya, M. A., Pabba, S. P. (2013). Economic load dispatch using genetic algorithm and pattern search methods. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(4), 1203-1212.
15. Rani, C., Kothari, D. P., Busawon, K. (2013). *Combined economic emission dispatch problem using chaotic self adaptive pso*. International Conference on Power, Energy and Control, Sri Rangalatchum Dindigul, India.
16. Kumar, N., Nangia, U., Sahay, K. B. (2014). *Economic load dispatch using improved particle swarm optimization algorithms*. 6th IEEE Power India International Conference, Delhi, India.
17. Meher, K. C., Swain, R. K., Chanda, C. K. (2014). *Modified gso for combined economic emission load dispatch with valve-point effects*. International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications, Bangalore, India.
18. Arul, R., Velusami, S., Ravi, G. (2014). *Solving combined economic emission dispatch problems using self-adaptive differential harmony search algorithm*. International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, Nagercoil, India.
19. Dasgupta, K., Banerjee, S., Chanda, C. K. (2015). *An analysis of economic load dispatch with prohibited zone constraint using different algorithms*. Michael Faraday The Institution of Engineering and Technology International Summit, Kolkata, India.
20. Ghosh, B. G., Dey, B., Bhattacharya, A. (2015). *Solving economic load dispatch problem using hybrid krill herd algorithm*. International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth, Shillong, India.
21. Sulaiman, M. H., Mustaffa, Z., Mohamed, M. R., Abdullah, N. R. H. (2015). *An application of cuckoo search algorithm for solving combined economic and emission dispatch problem*. International Conference on Informatics, Electronics & Vision, Fukuoka, Japan.
22. Alam, M. N., Mathur, A., Kumar, K. (2016). *Economic load dispatch using a differential particle swarm optimization*. IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, Delhi, India.
23. Bhesdadiya, R. H., Jangir, N., Pandya, M. H., Jangir, P., Trivedi, I. N., Kumar, A. (2016). *Price penalty factors based approach for combined economic emission dispatch problem solution using dragonfly algorithm*. International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, India.

24. Chansareewittaya, S. (2017). *Hybrid ba/ts for economic dispatch considering the generator constraint*. International Conference on Digital Arts, Media and Technology, Chiang Mai, Thailand.
25. Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. New York: Mc Graw-Hill, 267-284.
26. Grainger, J. J., Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. New York: Mc Graw-Hill, 543-548.
27. Walters, D. C., Sheble, G. B. (1993). Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading. *IEEE Transactions on Power Systems*, 8(3), 1325-1332.
28. Subathra, M. S. P., Selvan, S. E., Victoire, T. A. A., Christinal, A. H., Amato, U. (2015). A hybrid with cross-entropy method and sequential quadratic programming to solve economic load dispatch problem. *IEEE Systems Journal*, 9(3), 1031-1044.
29. Rahman, U. R. (2015). *Novel Particle Swarm Optimization Algorithms with Applications in Power Systems*, Thesis of Doctor of Philosophy, Brunel University College of Engineering, Design & Physical Sciences, London, UK, 96-98.
30. Saka, M., Eke, İ., Tezcan, S. S., Taplamacıoğlu M. C. (2017). *Economic load dispatch using vortex search algorithm*. 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey.
31. Kasmei, M. P., Nejad, M. R., Abdollahi, A. (2009). A novel unit commitment technique considering prohibited operating zones. *Journal of Applied Sciences*, 9(16), 2962-2968.
32. Sen, T., Mathur, H. D. (2016). A new approach to solve economic dispatch problem using a hybrid aco-abc-hs optimization algorithm. *Electrical Power and Energy Systems*, 78, 735-744.
33. Dasgupta, K., Banerjee, S., Chanda, C. K. (2015). *An analysis of economic load dispatch with ramp-rate limit constraints using different algorithms*. International Conference on Industrial Instrumentation and Control, Pune, India.
34. Mandal, K. K., Mandal, S., Bhattacharya, B., Chakraborty, N. (2015). Non-convex emission constrained economic dispatch using a new self-adaptive particle swarm optimization technique. *Applied Soft Computing*, 28, 188-195.
35. Trivedi, I. N., Jangir, N., Jangir, P., Pandya, M. H., Bhesdadiya, R. H., Kumar, A. (2016). *Price penalty factors based approach for emission constrained economic dispatch problem solution using whale optimization algorithm*. IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, Delhi, India.
36. Doğan, B., Ölmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex Search algorithm. *Information Sciences*, 293, 125-145.
37. Doğan, B., Ölmez, T. (2015). Vortex search algorithm for the analog active filter component selection problem. *International Journal of Electronics and Communications*, 69(9), 1243-1253.

38. Doğan, B. (2016). A modified vortex search algorithm for numerical function optimization. *International Journal of Artificial Intelligence and Applications*, 7(3), 37-54.
39. Saka, M., Eke, İ., Tezcan, S. S., Taplamacıoğlu M. C. (2016). *Application of vortex search algorithm to economic load dispatch including transmission losses with valve-point loading effect*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, Turkey.
40. Trivedi, I. N., Rampariya, A. H., Kumar, A., Jangir, P. (2016). *Economic load dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones solve using levy flight moth-flame optimizer*. International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, India.
41. Singh, N., Kumar, Y. (2013). Economic load dispatch with valve point loading effect and generator ramp rate limits constraint using mrpso. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2(4), 1472-1477.
42. Ah King, R. T. F., Rughooputh, H. C. S. (2003). *Elitist multiobjective evolutionary algorithm for environmental/economic dispatch*. Congress on Evolutionary Computation, Canberra, Australia.
43. Bhattacharya, A., Chattopadhyay, P. K. (2010). *Oppositional biogeography-based optimization for multi-objective economic emission load dispatch*. Annual IEEE India Conference, Kolkata, India.
44. Dnaraj, R. M. S., Gajendran, F. (2005). Quadratic programming solution to emission and economic dispatch problems. *Journal of Institution of Engineers*, 86, 129-132.
45. Dixit, G. B., Dubey, H. M., Pandit, M., Panigrahi, B. K. (2011). *Artificial bee colony optimization for combined economic load and emission dispatch*. International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems, Chennai India.
46. Rughooputh, H. C. S., Ah King, R. T. F. (2003). *Environmental/economic dispatch of thermal units using an elitist multiobjective evolutionary algorithm*. IEEE International Conference on Industrial Technology, Maribor, Slovenia.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAKA, Mustafa  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 14.06.1989, Ankara  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (537) 723 25 41  
 e-mail : msaka@gazi.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Müh. Fak.)	2017
Lisans	Pamukkale Üniversitesi /Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2012
Lise	Ankara Çankaya Lisesi (Y.D.A.)	2007

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2015-2015	İskenderun Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2015	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2014	Mustafa Kemal Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Saka, M., Eke, İ., Tezcan, S. S., Taplamacıoğlu M. C. (2017). *Economic load dispatch using vortex search algorithm*. 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey.

2. Saka, M., Eke, İ., Tezcan, S. S., Taplamacıoğlu M. C. (2016). *Application of vortex search algorithm to economic load dispatch including transmission losses with valve-point loading effect*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, Turkey.

## **Hobiler**

Spor, Dans





*GAZİ GELECEKTİR..*